



Association Aéronautique  
Astronautique de France

**LA SOCIÉTÉ SAVANTE DE L'AÉRONAUTIQUE ET DE L'ESPACE**



**EXTRAIT THÉMATIQUE IdF N°2**

**→ LA LUNE**

**- Le village Lunaire**

**12 Février 2021**

**Article paru dans La Lettre 3AF n° 33**

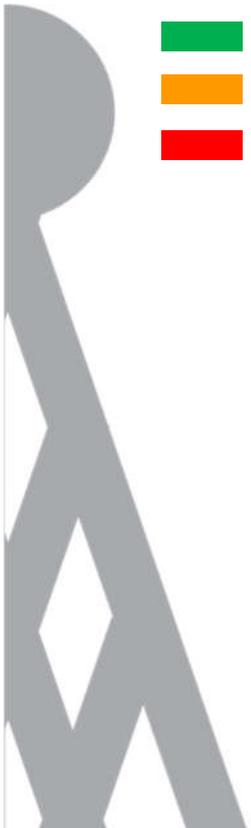
## SOMMAIRE

### 1. LE VILLAGE LUNAIRE

Interview du **Pr. BERNARD FOING**, Directeur du Groupe International d'Exploration Lunaire au Centre de Recherche et Technologie (ESTEC) de l'ESA par Jean-Pierre Sanfourche Chargé de mission à la 3AF

### 2. AFFICHE DE LA PROCHAINE CONFÉRENCE du Groupe Ile-de-France Mardi 16 mars 2021 de 18h 30 à 20h.

- **FROG : DÉMONSTRATEURS MINIATURES POUR LA RÉUTILISATION DES LAN-CEURS** par **Stéphane Querry**, membre 3AF et société Polyvionics, et **Badr Rmili**, CNES.

- 
-  Tout public
  -  Averti
  -  Expert ou spécialiste

## INTERVIEW DE PERSONNALITÉ

# Pr. BERNARD FOING, DIRECTEUR DU GROUPE INTERNATIONAL D'EXPLORATION LUNAIRE AU CENTRE DE RECHERCHE ET TECHNOLOGIE (ESTEC) DE L'ESA

par Jean-Pierre Sanfourche, Chargé de mission à la 3AF



Le professeur Bernard Foing est Scientifique senior et Conseiller du Directeur Général de l'Agence Spatiale Européenne. Il est astrophysicien au Centre de Recherche et Technologie ESTEC (European Space Research & Technology Centre) de l'ESA, Directeur Exécutif du ILEWG (International Lunar Exploration Working Group) et professeur de recherche spatiale à l'Université Vrije d'Amsterdam et à Florida Tech.

**Jean-Pierre Sanfourche :** Le rêve européen d'un village sur la Lune commence à prendre forme. Je crois savoir que le " Village Lunaire " ne se conduit pas dans une philosophie de " Projet " classique mais dans une philosophie de " Concept Ouvert ", dans une vision de coopération spatiale mondiale. Quel est l'état actuel d'avancement des initiatives de l'ESA ?

**Bernard Foing :** L'ESA élabore actuellement le concept d'un " Village sur la Lune " avec l'objectif d'une présence humaine durable sur la surface lunaire pour y accomplir de multiples activités. Maints utilisateurs sont envisagés et cette entreprise a pour vocation de fédérer de nombreuses nations et partenaires. Ce programme avance à grands pas, comme nous allons le voir au cours de notre entretien.

La Lune représente un premier choix du point de vue politique, programmatique, technique, scientifique, et aussi pour des raisons opérationnelles, économiques, et pour la génération d'inspirations et d'innovations.

**JPS :** Quel est le point actuel sur les déclarations de contributions au Village Lunaire que l'ESA a reçues des différents pays ? USA, Russie, Chine, Inde, Japon, autres ...

**BF -** Le village lunaire s'appuie sur les projets précédents : les vols habités sur stations spatiales et les missions robotiques planétaires. Il s'appuie aussi sur les travaux du Groupe de Travail lunaire ILEWG (International Lunar Exploration Working Group) du COSPAR (Committee on Space Research)

L'ILEWG, créé il y a 20 ans, a soutenu les possibilités de collaboration entre les différentes missions lunaires conduites dans le monde et a permis de riches échanges quant aux projets futurs. Des orbiteurs lunaires ont été déployés en flottilles à des fins scientifiques et de reconnaissance au cours de la " dernière décennie lunaire internationale " : nous avons commencé avec SMART-1 (first Small Mission for Advanced Research)



*Vue d'artiste de la mission Smart-1. Celle-ci a permis de tester la propulsion solaire électrique vers l'espace profond, ouvrant ainsi la voie à une flottille internationale de sondes lunaires orbitales dans ces quinze dernières années.*

La communauté internationale a suivi avec Kaguya, Chang'E1 & 2, Chandrayaan-1, LCROSS, LRO, GRAIL et LADEE. De facto, nous avons reçu des opportunités de collaboration et pris connaissance des éléments de village robotisé sur la Lune.

La Chine a posé sur la Lune en 2013 le Chang'E3 et son rover Yutu ; elle prépare un alunissage sur la face cachée en fin 2018 avec Chang'E4 puis un retour d'échantillons avec Chang E5 en 2019.

L'Inde prépare aussi un alunisseur et rover Chandrayaan2 pour début 2019.

Et à partir de 2019 d'autres alunisseurs sont prévus : des systèmes commerciaux comme Moon Express, Astrobotics, Part Time Scientists ainsi que des projets internationaux comme SLIM au Japon, les sondes russes Luna 25-28, et des projets américains.

**JPS : Pour réaliser une telle aventure, il faudra rassembler beaucoup de partenaires et des moyens financiers considérables : les multiples contacts que vous entretenez vous permettent-ils d'envisager l'avenir avec confiance ?**

**BF -** Les discussions de *Moon Village* sont également conduites sur la base des activités courantes et planifiées à court à terme à bord de l'ISS et aussi sur la base des précédentes feuilles de route et études effectuées au sein des groupes internationaux tels que COSPAR, ILEWG, IAF (*International Astronautical Federation*), IAA (*International Astronautical Academy*), ISECG (*International Space Exploration Coordination Group*) ou divers groupes nationaux et régionaux.

<http://sci.esa.int/ilewg/>

<https://ildwg.wordpress.com/moon-village/>

Tout cela implique de nouvelles industries dans l'espace, et aussi des industries innovantes non encore spatiales. Je citerai parmi les candidats potentiels les constructeurs de robots terrestres et les industriels qui travaillent au profit de la géologie.

**JPS : Voyez-vous le " Village Lunaire " comme une suite logique de la Station Spatiale Internationale (ISS) ?**

**BF -** En partie comme une suite d'activités conduites avec nos partenaires de l'ISS, mais en plus, dans une perspective de large ouverture sur d'autres pays, sur d'autres partenaires, publics et commerciaux. Ce sera la suite de l'ISS, mais bien sûr d'une toute autre ampleur !

Le financement intergouvernemental de l'ISS est programmé jusqu'en 2024.

Dès 2024 on peut envisager des vols habités en orbite basse autour de la Lune sur des stations spatiales de petite dimension.

Pour le Village Lunaire, nous avons fait appel aux partenaires de l'ISS mais nous nous ouvrons aussi à tous

les pays, développés et en voie de développement, toujours dans un esprit de coopération pacifique entre états. Nous prévoyons des exploitations commerciales génératrices de profits. Nous prévoyons également le développement d'activités extérieures au strict domaine de la recherche spatiale, des activités artistiques par exemple.

**JPS : Quels bénéfices attendez-vous d'une base permanente sur la Lune ?**

**BF -** Le village lunaire a l'ambition de servir plusieurs objectifs, notamment :

- la coopération internationale pacifique ;
- la science planétaire ;
- la surveillance de la Terre ;
- l'astronomie et la cosmologie ;
- la recherche fondamentale ;
- les sciences de la vie ;
- l'utilisation des ressources ;
- le vol spatial habité ;
- le développement économique ;
- l'innovation technologique dans de multiples domaines.

Il devrait être le catalyseur de nouvelles alliances entre le public et les entités privées, y compris les industries non spatiales.

Nous pourrions poursuivre des recherches scientifiques qui ont été conduites à bord de l'ISS en conditions de gravité partielle (1/6 g) et de radiations différentes de celles de l'ISS, et en utilisant les ressources locales (glaces et minéraux)

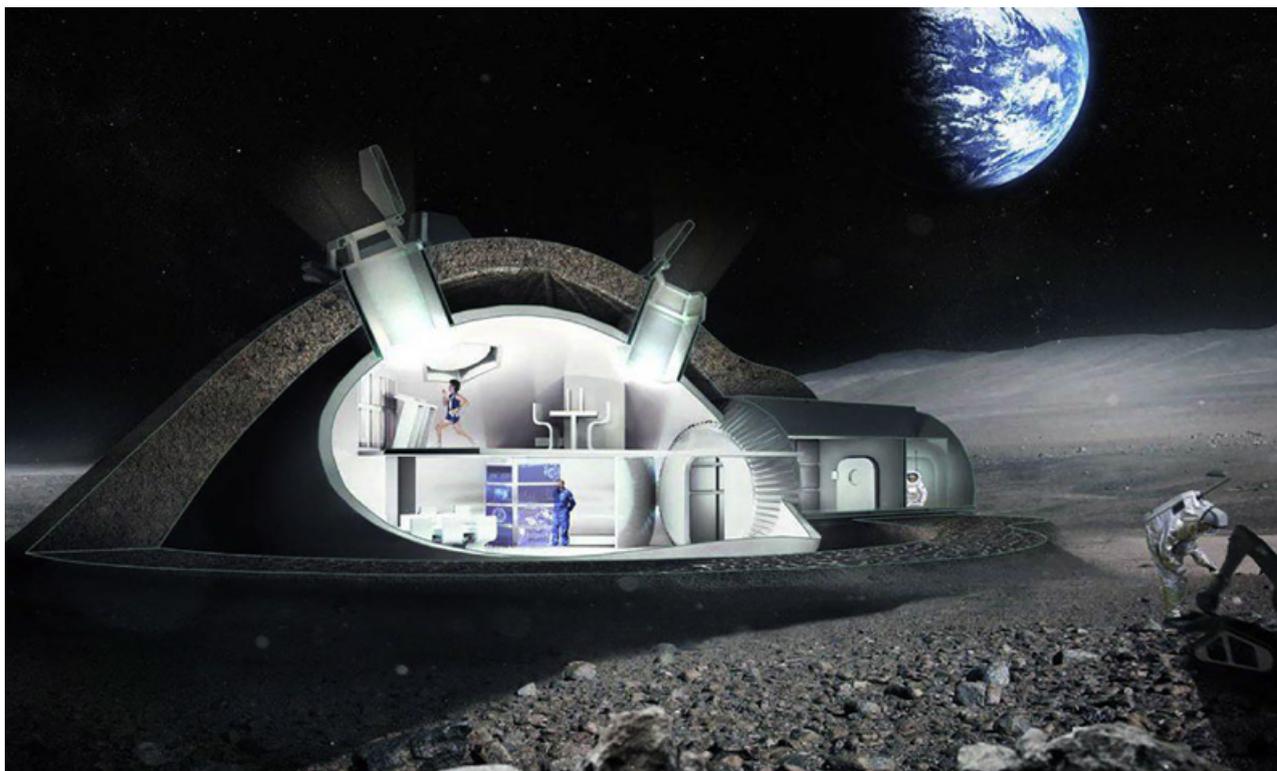
De plus, le *Moon Village* devrait constituer une forte source d'inspirations nouvelles, de renforcement des capacités humaines et de développement de la main-d'œuvre. Par ailleurs, quel magnifique outil éducatif pour les jeunes générations !

**JPS : Dès à présent deux projets préparatoires très concrets se font jour :**

- la capsule ORION associée à un module de l'ESA ;
- l'alunisseur Luna 27 entrepris par Roscosmos (Russie) avec la collaboration de l'ESA.

**Quel est leur état d'avancement ?**

**BF -** La capsule Orion et le module de service ESA qui doit propulser Orion jusqu'à la Lune (avec propulsion, énergie, cargo et technologies dans la continuité de celles de l'*Automatic Transfer Vehicle ATV* vers ISS) sont préparés pour un lancement de la mission d'exploration EM-1 en mode automatique en 2020, puis avec 4 astronautes pour EM-2 en 2023 pour une mission de 8-21 jours. Ces projets ont pris du retard en particulier lors du financement et développement d'Orion et du lanceur lourd SLS.



Un concept d'habitat "Moon Village": structure gonflable, dispositif de blindage pour la protection des astronautes et divers équipements.

L'objectif de Luna 27 de Roscosmos/ESA pour un lancement en 2023 est de prospecter les minéraux, les substances volatiles et la glace d'eau lunaire dans les zones polaires ombragées en permanence et d'explorer l'utilisation potentielle de ces ressources.

**JPS : Qu'en est-il du projet suivant appelé *Deep Space Gateway* de la NASA – véritable station spatiale placée en orbite autour de la Lune nommée "Porte des Etoiles" ?**

**BF** - Le projet a changé plusieurs fois de noms et la passerelle s'appelle maintenant *Lunar Orbital Platform-Gateway (LOP-G)*. Si elle est financée, la passerelle sera développée, entretenue et utilisée en collaboration avec des partenaires commerciaux et internationaux pour servir de base aux missions de surface lunaire robotisées et en équipage, et aux déplacements vers Mars. Le concept initial pour la LOP-G évolue encore et comprend au moins les modules de composants suivants: un élément de puissance et de propulsion (PPE est programmé pour être lancé après 2022) et un module d'Habitat Cislunaire pour une période maximale de 21 jours qui lui, pourrait être lancé avec EM-3 vers 2024.

**JPS : Saurons-nous surmonter les problèmes liés à l'exposition au rayonnement solaire et aux rayonnements cosmiques, aux micrométéorites et aux températures extrêmes ?**

**BF** - Nous pourrions commencer avec des modules rigides, puis ensuite déployer des structures gonflables avec protection utilisant le régolite et les glaces. Nous pouvons aussi enfouir une part des installations sensibles.

Il faudra un refuge et un système d'alerte pour la surveillance des éruptions solaires et éjections de masses. Il faudra en outre développer des antidotes aux radiations afin de limiter leurs effets. Et puis il est bien évident que s'imposera une politique rigoureuse de sélection des futurs astronautes.

**JPS : Qu'en est-il des connaissances relatives aux ressources disponibles sur le sol lunaire: eau, hélium-3, oxygène, silicium, fer, aluminium, titane, chrome, ... ? Comment certains de ces éléments pourraient-ils être utilisés pour la vie des astronautes sur place ?**

**BF** - Eau : la glace pourrait couvrir les régions ombragées en permanence sur une surface de 16 000 km<sup>2</sup> et sur une épaisseur de 1 à 2 m. On estime donc la masse de glace disponible *in situ* à plusieurs milliards de tonnes, une ressource utilisable sur place et exportable pour une économie orbitale.

L'hélium-3, lui, peut être extrait, mais en très faibles quantités à chaque opération. Il faudra donc beaucoup de temps pour arriver aux quantités nécessaires pour qu'il puisse être utilisé dans un réacteur à fusion nucléaire,

## INTERVIEW DE PERSONNALITÉ

### Pr. BERNARD FOING, DIRECTEUR DU GROUPE INTERNATIONAL D'EXPLORATION LUNAIRE

mais cette fusion  $^3\text{He}$  requiert des températures et confinements bien plus difficiles que pour ITER (*International Thermonuclear Experimental Reactor*).

L'oxygène peut être extrait du sol lunaire : il sera utilisé pour le " soutien vie " des astronautes et aussi comme comburant pour les fusées.

Les verres et silicates ont vocation à être utilisés par l'industrie.

Les matériaux disponibles sur le sol lunaire (fer, aluminium, titane, chrome,...) pourront naturellement être extraits et mis à contribution pour la construction des éléments du Village Lunaire. Les terres rares (lanthanes) également.

**JPS : Il est envisagé d'utiliser la roche lunaire pour construire les éléments de la base lunaire en mettant en œuvre les techniques de l'impression 3D.**

**BF** – La technique 3D en question est décrite dans le site ci-dessous.

[http://www.esa.int/highlights/Lunar\\_3D\\_printing](http://www.esa.int/highlights/Lunar_3D_printing)



*L'ESA teste l'utilisation de l'impression 3D pour la construction de la future base lunaire.*

Technique 3D avec sol lunaire avec plastique :

- Le sol lunaire est fondu avec concentrateur solaire (1200°C) permet d'obtenir des " briques ".
- À partir de régolite placé dans un four à micro-ondes on réalise des réseaux de fer fondu (maillages métalliques).
- Un faisceau laser est projeté sur le sol.

À écouter : <https://audioboom.com/posts/4222747-esa-moon-expert-bernard-foing-on-buildinf-a-lunar-village-in-french>

**JPS : Des exercices de simulation à terre sont conduits dans le massif volcanique de l'Eifel (près de Cologne) : pouvez-vous nous éclairer sur ce sujet ?**

**BF** – Les sites indiqués ci-après vous permettent d'être bien informé sur le sujet.

<http://www.euronews.com/2016/02/25/how-to-build-a-village-on-the-moon>

L'alunisseur ExogeoLab est un " LEM " robotique. Il est équipé d'instruments – caméras, spectromètres pour analyser des échantillons – et il permet de déployer des rovers. Les humains peuvent utiliser le laboratoire, remplacer des instruments si nécessaire.

Une collaboration EuromoonMars organise des essais de terrain dans des sites géologiques analogues à la Lune ou Mars tels que l'Eifel, l'Utah, les Canaries ou Hawaii depuis 2009.



<https://www.lpi.usra.edu/meetings/lpsc2010/pdf/1680.pdf>

Nous avons fait des simulations d'isolement et de contrôle à distance dans la base LunAres (MoonMars) en Pologne.



*Des simulations de missions habitées ont été conduites sur des sites tels que Utah MDRS, Hi-Seas Hawaii, l'habitat Lunares construit à Pila en Pologne.*

Nous effectuons aussi des simulations à Hawaii en vue de construction d'une base volcanique terrestre de préparation des technologies. Et également en Islande et sur l'Archipel des Canaries (Lanzarote).

<https://moonbasealliance.com/visionaries/>



L'équipe de la campagne ROBEX-DLR a testé dans le paysage lunaire de l'Etna la "coopération" entre l'alunisseur et des robots intelligents destinés au déploiement d'instruments et à l'exploration. (ROBEX est le nom de l'organisation Helmholtz Allianz. ROBEX: ROBotic EXploration under extreme conditions).

**JPS : Comment concevez-vous le partage entre les tâches effectuées par l'homme et celles effectuées par les robots ?**

**BF** - Nous avons commencé avec des sondes orbitales automatiques dont les opérations sont préprogrammées plusieurs semaines et jours en avance. Avec les missions "alunisseurs", nous aurons des opérations planifiées mais aussi des opérations télécontrôlées avec retour de données visuelles. Nous aurons en outre des contacts haptiques (informations tactiles) avec un retard de 2-3 secondes. Nous apprenons à réaliser cela efficacement avec l'objectif de faire en sorte que le village robotique dispose d'opérateurs qualifiés depuis la Terre.

Lorsque nous nous aurons des humains en orbite lunaire, cela pourrait donner une supervision directe des robots de surface comme nous le testons maintenant avec les astronautes sur l'ISS et les rovers Meteron, Interact et Androïde Justin. S'offrira aussi une possibilité de collecter des échantillons et de les ramener à Terre avec les astronautes.

À long terme les humains sur la Lune pourront travailler avec les robots, les maintenir, les réparer, les adapter et surveiller comme des bergers des troupeaux de robots autonomes. Lors de la campagne Robex nous avons testé dans le paysage lunaire de l'Etna des rovers autonomes intelligents capables tout à la fois d'explorer et de déployer des instruments.

Comment construire le Moon Village et avec qui ?

Le Moon Village s'appuiera à la fois sur la robotique automatique et des structures à participation humaine

pour conduire des opérations à la surface de la Lune à des fins multiples sur une base d'architecture ouverte.

**JPS : Quid des fusées qui vont nous placer en orbite autour de la Lune et nous y poser, jusqu'aux bases dans lesquelles nous vivrons ?**

**BF** - Je peux brièvement résumer ainsi les éléments de réponse à votre question :

- Ariane 5 a lancé SMART-1 en GTO - (Geostationary Transfer Orbit) après quoi la propulsion solaire a assuré le transfert de GTO à la Lune.
- Avec Ariane 6 nous pouvons prévoir l'envoi de 11 tonnes en GTO, puis 4 tonnes en orbite autour de la Lune et 2 tonnes (environ la moitié) sur la surface lunaire, dont le dixième, soit 200 kg, pour la charge utile.
- Avec Space X Falcon Heavy (dont le premier lancement a eu lieu en février 2018), nous pourrions envoyer en deux ou trois lancements les éléments d'une base lunaire.
- Blue Origins de J. Bezos : c'est un système de cargo qui est prévu pour déployer 5 tonnes sur la Lune après 2020.
- SLS est la fusée étatique, elle, dont on attend le premier lancement EM-1 en 2020.

**JPS : Comment voyez-vous le déroulement dans le temps des grandes étapes qui vont rythmer le développement du Village Lunaire ? Maintenez-vous la date de 2057 pour la proclamation d'une République de la Lune ?**

**BF** - Voici comment je vois personnellement les grandes étapes possibles :

- 2013 - 2025 : Village Lunaire robotique ;
- 2022 : humains en orbite lunaire (avec SLS EM-2) ou Space X ;
- 2030 : 10 humains en permanence ;

## INTERVIEW DE PERSONNALITÉ

### Pr. BERNARD FOING, DIRECTEUR DU GROUPE INTERNATIONAL D'EXPLORATION LUNAIRE

- 2040 : 100 humains ;
- 2050 : 1000 humains, ce sera la “ Moon City ” ;
- 2057 : République de la Lune (certains voudront déclarer l'indépendance), un nouveau continent.



Le premier tir de la fusée Falcon Heavy de SpaceX du 6 février 2018, est due à la fondation “Lune directe” de Robert Zubrin, qui vise à ramener à prix abordable les humains sur la Lune d'ici quatre ans. Crédit: SpaceX

Cette initiative doit rassembler toutes les communautés (dans toutes les disciplines, nations, industries, partenaires, particuliers) et pourrait placer la Lune au sommet des agendas politiques, scientifiques, technologique, publics et sociétaux pour le XXI<sup>ème</sup> siècle.

**JPS : Une dernière question : que répondez-vous aux “ Lunaro-Sceptiques ” qui, considérant comme extrêmement minces les retombées scientifiques et technologiques du Programme Apollo, pensent que revenir sur la Lune risque fort de conduire à des désillusions et qu'au contraire, il faut résolument concentrer tous les efforts sur “ L'Homme sur Mars ” ?**

**BF** - Comme Voltaire, je suis sceptique et pense qu'il nous faut être critique même sur les sujets qui nous passionnent (l'Europe, la Lune et Mars). Regardons les faits. Il est clair que le programme Apollo a eu des retombées considérables :

- Dans notre histoire récente, Apollo est l'événement clé que l'on peut qualifier de positif, par opposition aux nombreuses guerres et conflits qui ont jalonné tout notre XX<sup>ème</sup> siècle ;

- Sur le plan politique, Apollo a été la victoire de la science et de la technique dans la course qui opposait les USA et l'URSS dans la conquête spatiale ;

- Nombre de défis technologiques ont été relevés et des progrès considérables ont été accomplis dans tous les domaines de la technologie spatiale ;

- Ces succès ont généré un engouement pour le “ Spatial ” et les USA notamment ont attiré des ingénieurs et chercheurs de haut niveau ;

- Le programme Apollo a été un accélérateur de développements technologiques ;

- Au plan scientifique, l'analyse des échantillons

ramenés sur Terre a permis des avancées notables dans notre compréhension du Système Terre-Lune, des sciences de la Terre et bien sûr dans le domaine de l'aéronautique ( vols habités) ;

- Enfin d'une manière globale, au plan sociétal, Apollo aura été l'événement majeur dans l'histoire de l'humanité : “ ... des petits pas sur la Lune, mais un grand pas pour l'humanité ” !

Apollo valait-il l'investissement de 3% du budget fédéral (25 milliards \$ de l'époque soit 125 milliards \$ actuels) alors que le budget soviétique était de l'ordre du quart de cette somme ?

Notons que le programme Apollo a été stoppé en raison du coût financier de la guerre du Vietnam : 300 milliards \$ 1974, soit 1500 milliards \$ de nos jours. Et que dire du coût humain ? 1,5 million de morts et millions de réfugiés du côté vietnamien, et du côté américain 50 000 décès, 300 000 blessés et des centaines de milliers de soldats appelés sur 10 ans, ...

Quelles sont les retombées du programme ISS ?

L'investissement de 150 milliards \$ est-il justifié ?

- Oui sur les plans politiques (une collaboration pacifique après la guerre froide entre USA, Russie, Europe, Japon et Canada, historique (présence permanente d'astronautes), technique (développement, opérations spatiales complexes - construction, déploiement d'installations, maintenance, etc), de la formation/éducation, et de la générations d'inspirations et innovations ;

- En partie seulement sur le plan scientifique : quelques résultats, mais potentiel de recherche sous-exploité, long délais de développement, avec un financement de recherche qui va décroissant, de 1 milliard \$ en 2002 à 200 millions \$ maintenant ; quant aux publications scientifiques référées, elles restent d'un niveau modeste, environ 300 par an ;

- Dans une faible mesure au plan commercial : les résultats commerciaux promis au début ont été seulement réactualisés avec la contribution de NewSpace, et pour la période de transition autour de 2024 (année prévue pour l'arrêt du soutien intergouvernemental courant de l'ISS).

Avec un coût de 1 Euro par Européen et par an, la valeur de l'ISS est indéniable, mais il faut valoriser encore mieux l'investissement.

Les missions robotiques vers la Lune et Mars apportent une valeur efficace et partagée avec tous les Terriens. Le défi pour le village sur la Lune (et plus tard l'envoi de l'Homme sur Mars) sera de partager avec efficacité cette valeur parmi les citoyens, et d'engager les diverses composantes publique, politique, historique, scientifique, technique, commerciale et inspiratrice. ■



[www.3af.fr](http://www.3af.fr)

# Les Conférences du Groupe Ile-de-France

**LES MARDIS DE L'AÉRONAUTIQUE ET DU SPATIAL**  
RECHERCHE, CONCEPTION, FABRICATION, PROJETS, ÉTUDES, ESSAIS...

Association Aéronautique et Astronautique de France

## FROG : DÉMONSTRATEURS MINIATURES POUR LA RÉUTILISATION DES LANCEURS

Par **Stéphane Querry**, membre 3AF et société Polyvionics, et  
**Badr Rmili**, CNES.

**Une conférence en visiophonie organisée par le Groupe  
Ile-de-France de la 3AF en partenariat avec la Mairie du 15ème**

**MARDI 16 MARS 2021 de 18h30 à 20h**

Le **CNES** et **ArianeWorks** ont initié, en partenariats associatifs, universitaire et industriel (Planète Sciences, Polyvionics, Sonatronics, Drones-Center et l'IUT Cachan), la réalisation d'une série de **démonstrateurs** agiles destinés à **tester diverses briques technologiques** au profit des programmes Callisto, Themis et futur lanceur réutilisable Ariane Next. Les premiers résultats de vol sont prometteurs...

**INSCRIPTION OBLIGATOIRE** sur le site 3AF  
<https://www.3af.fr/evenement/FROG>

Suite à la **crise sanitaire de la Covid-19**, les conférences du groupe 3AF Ile-de-France sont provisoirement et exclusivement proposées en visiophonie via **le service de téléconférence ZOOM**.



**Accès gratuit sur inscription, membres et non membres 3AF**

Voir le site 3AF à l'adresse : <https://www.3af.fr/evenements-1001>

### PROCHAINES CONFÉRENCES 3AF ILE-DE-FRANCE

**Exploration spatiale & coopération Europe (ESA) / Russie**, par Bérangère Houdou, ASE, mardi **13 avril**, 18h30/20h.

**Hydrofoils et hydroptères**, par Philippe Perrier, Ex-Dassault et membres 3AF, mardi **18 mai**, 18h30/20h.



Association Aéronautique  
Astronautique de France

6, rue Galilée - Paris  
Tél. : 01 56 64 12 30  
Email : [3af.idf@gmail.fr](mailto:3af.idf@gmail.fr)

**[www.3af.fr/groupe-regional/idf](http://www.3af.fr/groupe-regional/idf)**

