



ÉCLAIRER LES POUVOIRS PUBLICS ET LES CITOYENS SUR LES QUESTIONS LIÉES AUX TECHNOLOGIES DANS LA POURSUITE DE L'INTÉRÊT GÉNÉRAL, POUR LEUR PLEINE COMPRÉHENSION ET ADOPTION. C'EST LA LIGNE DE NOTRE DEVISE :
« POUR UN PROGRÈS RAISONNÉ, CHOISI ET PARTAGÉ »



LES BESOINS EN CARBURANT DURABLE POUR LA DÉCARBONATION DE L'AVIATION SONT UN ENJEU À L'ÉCHELLE MONDIALE ET EUROPÉENNE. Le résumé/synthèse du Rapport de l'Académie des Technologies est publié dans ce numéro : pages 7-11



**INTERVIEW DE DENIS RANQUE,
PRÉSIDENT DE L'ACADÉMIE DES TECHNOLOGIES** Pages 4-6

ÉDITEUR

Association Aéronautique
et Astronautique de France
6, rue Galilée, 75016 Paris

Tél. : 01 56 64 12 30

E-mail : secr.exec@3af.fr

DIRECTION DE LA PUBLICATION

• **Directeur** : Louis Le Portz,
Président de la 3AF

COMITÉ ÉDITORIAL

• **Rédacteur en Chef** :
Jean-Pierre Sanfourche

• **Membres** :

Stéphane Andrieux
Michel Assouline
Bruno Berthet
Bruno Chanetz
Jean-François Coutris
Michel Liébert
Bertrand Petot
Dominique Valentian

CONCEPTION GRAPHIQUE

• Ici La Lune
www.icilaLune.com

DESIGN ET MISE EN PAGE

• Caroline Saux
declicchic@gmail.fr

IMPRIMÉ PAR L'ONERA

Droits de reproduction, textes
et illustrations réservés pour tous pays.

3 LE MESSAGE DU PRÉSIDENT

INTERVIEW

4 **INTERVIEW DE DENIS RANQUE,
PRÉSIDENT DE L'ACADÉMIE DES TECHNOLOGIES**
par Jean-Pierre Sanfourche

AÉRONAUTIQUE

7 **LA DÉCARBONATION DU SECTEUR AÉRIEN
PAR LA PRODUCTION DE CARBURANTS DURABLES**
*Résumé Synthèse du Rapport de l'Académie
des Technologies*
par Jean-Pierre Sanfourche et Daniel Iracane

12 **L'ÉVOLUTION DE LA RÉGLEMENTATION DU VOL TOUT TEMPS**
par Serge Germanetti – Commission technique Hélicoptères

DÉFENSE

14 **DÉFENSE ANTI-MISSILE - LA CONFÉRENCE « IAMD »
A CÉLÉBRÉ SES 20 ANS A PORTO**
par Luc Dini – Emmanuel Delorme – Yannick Devouassoux

ESPACE

22 **UNE MISSION HABITÉE SUR MARS NE DOIT PAS ÊTRE
LE PROCHAIN DÉFI DE L'HUMANITÉ**
par Marius Le Fèvre

25 **LES PRÉPARATIFS DU PREMIER VOL D'ARIANE 6**
par Dominique Valentian

26 **LE NANO-SATELLITE D'OBSERVATION DU CLIMAT
INSPIRE-SAT 7**
*par Mustapha Metfah, Responsable du programme
Inspire-SAT 7 au LATMOS*

RELATIONS INTERNATIONALES

30 **LES PHÉNOMÈNES AÉROSPATIAUX NON IDENTIFIÉS (PAN) :
LE PREMIER WEBSEMINAR SCIENTIFIQUE INTERNATIONAL
ORGANISÉ PAR LA 3AF**
par Luc Dini

FORMATION ET CARRIÈRES

32 **LA TABLE RONDE ORGANISÉE PAR LA COMMISSION
TECHNIQUE « COMPÉTENCES ET FORMATION »**
par Philippe Boulan

CULTURE

34 **GUSTAVE EIFFEL, UNE SECONDE CARRIÈRE DANS LA
MÉTÉOROLOGIE, L'AÉRODYNAMIQUE ET LES SOUFFLERIES**
par Bruno Chanetz

VIE DE LA 3AF

38 **L'ASSEMBLÉE GÉNÉRALE DU 6 JUILLET 2023**
par Michel Assouline

39 **GROUPE RÉGIONAUX :
LE GROUPE RÉGIONAL HAUTS-DE-FRANCE**
par Éric Deletombe

43 **CALENDRIER DES ÉVÉNEMENTS**



LE MESSAGE DU PRÉSIDENT

Chers membres de la 3AF,

J'espère tout d'abord vous trouver toutes et tous en excellente forme en cette période de rentrée 2023/2024, une période toujours propice aux changements.

Notre Assemblée Générale annuelle s'est tenue le 6 juillet avec pour magnifique décor la salle des fêtes de la Mairie du 15^{ème} arrondissement de Paris. Vous en trouverez le compte rendu dans la rubrique « Vie de l'Association » de ce numéro de La Lettre. Je veux remercier tous ceux qui ont participé à son organisation et également témoigner notre reconnaissance et notre amitié à Jean-Claude Trichet pour la remarquable conférence sur le thème de l'Inflation, qui a précédé cette Assemblée.

Souhaitons la bienvenue à Mme Jacqueline Cohen-Bacrie dont la nomination au Conseil d'Administration a été ratifiée par notre Assemblée. Elle participera au rayonnement de notre Association. Par ailleurs, la structure dédiée aux colloques, « 3AF Events », dont la création a été votée en cette occasion, est d'ores et déjà en place et sera opérationnelle avant la fin de cette année.

Nous avons déjà eu en février le privilège d'une intervention de Louis Gallois sur les enjeux d'une réindustrialisation de notre pays. Cela démontre à quel point notre Société Savante 3AF reste connectée à la réalité industrielle et économique de notre pays et que les « défis à relever pour l'avenir » constituent le fil rouge de tous nos travaux et événements.

Ces défis à relever, qu'ils soient environnementaux, géostratégiques ou économiques sont au cœur des préoccupations de nos membres et se retrouvent au centre de nos conférences à venir : Propriété Intellectuelle et Innovation (P2i 2023), organisée à Bordeaux les 4 et 5 octobre, reviendra notamment sur les enjeux de souveraineté liée à la gestion de la propriété industrielle et les 14 et 15 novembre, Combat Aéroterrestre

2035 dressera un panorama des réponses technologiques et industrielles aux nécessaires évolutions capacitaires de notre Défense en 2035 et au-delà.

Le présent numéro de notre Lettre 3AF commence par l'interview du président de l'Académie des technologies, Denis Ranque, dont nous saluons la carrière remarquable. Le texte de cette interview est suivi d'un excellent résumé/synthèse du Rapport de l'Académie des technologies sur la décarbonation du secteur aérien par la production de carburants durables.

Viennent ensuite plusieurs articles couvrant les différentes rubriques, parmi lesquels le très complet compte rendu de la 15^{ème} édition de notre conférence IAMD (*Integrated Air and Missile Defence*), édition qui célébrait les 20 ans d'IAMD et qui fut remarquable à tous points de vue.

Que tous les contributeurs à ce numéro reçoivent ici mes félicitations et mes vifs remerciements.

Je vous souhaite une excellente lecture,

Avec toute mon amitié,

■
Louis Le Portz
Président de la 3AF

INTERVIEW

DENIS RANQUE, PRÉSIDENT DE L'ACADÉMIE DES TECHNOLOGIES

par Jean-Pierre Sanfourche, Rédacteur en Chef



©_Gael_Kazaz

Denis Ranque, né en 1952, est diplômé de l'École Polytechnique et de l'École des Mines ParisTech.

Il a commencé sa carrière au ministère français de l'Industrie, dans le secteur de l'énergie, avant de rejoindre Thomson-CSF en 1983.

Après avoir occupé diverses fonctions opérationnelles dans ce groupe, dans les tubes électroniques et les systèmes de sonar, il a été Président-Directeur Général de ce groupe, rebaptisé THALES, de 1998 à 2009.

Il a été Président du Conseil d'Administration de TECHNICOLOR (2009-2012) et d'AIRBUS (2013-2020) et Administrateur de Saint-Gobain et de CGG VERITAS, et maintenant de CMA CGM.

Il a également été Président du Conseil d'Administration de Mines ParisTech, de la Fondation de l'École Polytechnique et Président du Cercle de l'Industrie, une association qui réunit les plus grandes entreprises industrielles françaises.

Il est Président de l'Académie des Technologies de France depuis janvier 2022.

Vous avez publié récemment un rapport sur les carburants durables pour l'aviation. D'abord, pouvez-vous nous rappeler ce qu'est l'Académie des technologies ? Quand et pourquoi a-t-elle été créée ?

Notre académie est jeune, née fin 2000 ; elle est la fille, aujourd'hui adulte, de l'Académie des sciences, qui en avait préfiguré l'existence dans un Comité pour l'application des sciences, au cours des vingt années précédentes ; nos fondateurs et le Gouvernement ont jugé à cette époque que les technologies, dont l'importance dans la vie des citoyens n'est pas à démontrer, justifiaient une académie de plein exercice.

Nous sommes structurés, non par discipline technique (mécanique, chimie, électronique...), mais autour de quelques finalités essentielles, qui sont en fait autant de défis : l'alimentation, la santé, l'industrie, l'habitat et les mobilités, mais aussi l'environnement, la culture... avec une forte prise en compte des dimensions économiques mais aussi sociales.

C'est ainsi que notre devise n'est pas « Vive la techno ! », mais bien « Pour un Progrès, raisonné,

choisi et partagé » ; nous accordons en effet beaucoup d'attention aux interactions entre les technologies et la Société.

Quels sont votre rôle et vos activités principales ?

Notre académie regroupe des scientifiques éminents, des personnalités reconnues du monde socio-économique, notamment industriel, de l'éducation et de la recherche.

Elle conduit des réflexions, et formule des propositions sur les questions relatives aux technologies et leurs interactions avec la société. Elle s'attache à promouvoir un développement technologique au service de l'homme, de l'environnement et d'un bien-être durable.

Elle peut être saisie par les Pouvoirs publics, ou s'autosaisir, pour émettre des avis indépendants sur des grands choix technologiques et fournit des éléments de référence permettant d'éclairer le débat public.

C'est ainsi que depuis mi-2022 nous contribuons, à la demande de ses responsables, au grand programme

France 2030, qui représente un effort étatique sans précédent au bénéfice du développement technologique et industriel de notre pays.

Quelle est l'originalité de cette institution par rapport à d'autres organismes œuvrant sur les mêmes sujets ?

Dans le contexte actuel où l'expertise est mise en question, où les fausses nouvelles ont plus d'impact que les vraies, nous visons à devenir un « tiers de confiance » sur les technologies, nous exprimant en toute indépendance et ne recherchant que l'intérêt général, ce qui est un positionnement tout à fait unique dans notre pays, pour notre champ de compétences.

Ainsi avons-nous surpris les observateurs, en publiant en mai dernier un document sur la « Sobriété », soulignant que, si les technologies sont bien indispensables pour relever le défi climatique, elles n'y suffiront pas, et doivent être complétées par un changement des comportements, voire des valeurs, individuels et collectifs, dans le sens de la satisfaction du « juste besoin ».

Vous vous intéressez particulièrement à l'énergie ? À l'aéronautique ?

L'énergie occupe dans notre académie une place particulière, car elle conditionne l'activité économique et le bien être humain ; mais elle contribue aussi largement aux émissions de gaz à effet de serre, et donc au changement climatique. Nous y consacrons, directement et indirectement, de l'ordre d'un tiers de nos travaux.

La nécessaire transition énergétique concerne bien sûr les moyens de production énergétique, mais aussi tous les usages : c'est en fait une révolution, dont les grandes composantes sont technologiques, industrielles et économiques mais aussi sociales et politiques, et qui donc est au cœur de notre mission.

Nous travaillons aussi sur les grands secteurs industriels, au nombre desquels l'aéronautique et l'espace, et nous comptons dans nos rangs des experts de ce domaine ; mais ce n'est naturellement pas pour nous une spécialité, comme c'est le cas pour l'académie éponyme, avec laquelle nous coopérons régulièrement.

Quels ont été vos principaux travaux dans ces domaines ?

Au carrefour de l'énergie et de l'aéronautique, nous avons tout récemment publié un rapport sur les carburants durables pour l'aviation, qui est présenté dans le présent numéro de votre revue. Il sera complété très prochainement par une « feuille de route » pour la mise en œuvre de ces carburants dans ce secteur et dans celui du transport maritime, dont la problématique est similaire, ces deux secteurs représentant chacun environ 3% des émissions mondiales.

Nous montrons la faisabilité technique de ces carburants, identifions les technologies disponibles et celles dont le développement doit encore être poursuivi, et les conditions de réussite. Parmi celles-ci, la plus importante est la disponibilité de grandes quantités d'électricité décarbonée. Une autre conclusion en est que ces productions devront se faire dans de grandes unités industrielles, combinant la production d'H₂ par électrolyse, la captation du CO₂ qui fournit le composant carbone, et la synthèse chimique des carburants, non seulement pour supprimer le coût des transports intermédiaires, mais aussi pour optimiser le rendement énergétique.

Nous avons aussi travaillé, dans le cadre de France 2030 sur le renouveau du nucléaire. Notre académie a fait partie des quelques institutions qui ont osé rappeler régulièrement, pendant les années de doute et de flottement dans notre pays, l'importance de cette source d'énergie aux plans économique, stratégique et environnemental : Les installations nucléaires produisent une énergie décarbonée et pilotable, et avec une sécurité d'approvisionnement énergétique.

Mais nous avons toujours pris garde à ne pas opposer le nucléaire aux énergies renouvelables, elles aussi indispensables pour réussir la décarbonation. Les positions des extrémistes de l'un et l'autre camp n'ont eu comme résultat que de différer les investissements dans les deux voies.

Il faut à présent relancer la filière après une vingtaine d'années d'hésitations, avec la construction en série d'EPR2 ; l'industrie nucléaire saura profiter d'économies d'échelle si elle peut se développer dans un cadre serein, permettant de bénéficier de commandes en série, bien au-delà des six réacteurs décidés. Nous avons aussi souligné l'urgente nécessité de « refermer » le cycle du

combustible, en développant une filière de réacteurs capable d'utiliser le plutonium issu du retraitement, et de fissionner l'ensemble des atomes d'uranium.

L'aéronautique et l'astronautique sont pour nous de formidables exemples de développement technologique et à ce titre les évolutions tant scientifiques, technologiques, que sociétales que nous pouvons analyser sont souvent étudiées et illustrées par ce secteur aux enjeux internationaux.

C'est ainsi que nous avons par exemple consacré en 2022 une séance sur les satellites et le « *new space* », ou encore en 2018-2019 un colloque et un rapport, en coopération avec l'Académie de l'Air et de l'Espace, sur la gestion des grands programmes, tirant les enseignements de l'aéronautique pour les autres secteurs.

Plus généralement quels sont vos principaux messages sur la transition énergétique et écologique, tous secteurs confondus ?

La transition actuellement nécessaire est un formidable défi, le plus grand de tous les temps, car elle se doit d'être extrêmement rapide et, par nécessité, universelle et coordonnée. Il a fallu respectivement un et deux siècles pour devenir dépendants du pétrole et du charbon ; il nous faut apprendre à nous en passer en à peine un quart de siècle.

En effet atteindre Net zéro en 2050, c'est sortir quasi intégralement des énergies fossiles. S'il reste un solde incompressible, il devra être compensé par de la captation et du stockage du CO₂, dont le potentiel est par nature limité.

Pour remplacer les énergies fossiles dans leurs différents usages, il n'y a en pratique que deux voies :

- La biomasse, qui émet du CO₂ mais elle l'a préalablement capté par la photosynthèse. Elle est donc « neutre en carbone » mais elle est en quantité limitée et en conflits d'usages.
- L'électricité décarbonée (renouvelable et nucléaire), qui assurera donc le gros de la conversion. En effet les sources d'énergie primaire que sont les renouvelables (éolien, hydraulique et solaire) et le nucléaire, ne sont utilisables qu'après leur conversion en électricité, si on excepte quelques usages limités sous forme de chaleur directe.

Ainsi depuis plusieurs années notre académie a régulièrement souligné que notre pays sous-estimait systématiquement et dangereusement les besoins d'électricité à l'horizon 2030 et plus encore 2050. Aujourd'hui les yeux s'ouvrent et il devient évident que le vecteur électrique sera le moyen de décarbonation le plus important :

- Soit directement dans les applications où le problème du stockage ne se pose pas, tels que le chauffage des bâtiments (PAC) ou une partie des usages industriels, ou peut être résolu relativement simplement, tels que les véhicules électriques ;
- Soit indirectement en transformant l'électricité en combustibles et carburants de synthèse : hydrogène, SAF, méthanol, ammoniac... pour les transports (aériens, maritimes et routiers lourds) et les autres usages industriels.

Au plan européen, nous avons formulé un avis sur la politique énergétique de l'Union, dont nous avons souligné les difficultés et les impasses, par rapport à la politique nationale française, que nous soutenons. En effet, en contradiction avec les traités qui laissent à chaque État-Membre le choix de son mix énergétique, la politique européenne impose de facto son mix, en prescrivant les moyens de la décarbonation et pas seulement les objectifs correspondants, et en ne fixant aucun objectif de sécurité d'approvisionnement.

Enfin, pour assurer notre réindustrialisation, absolument nécessaire pour des raisons d'équilibres économiques, de cohésion sociale, et surtout de souveraineté, il faut une énergie décarbonée, abondante et compétitive. Comment faire dans un continent où l'énergie est chère et où de plus les « fuites de carbone » sont non maîtrisées ? La volonté d'exemplarité de l'Europe est indissociable de la mise en place d'un mécanisme cohérent et efficace d'ajustement carbone aux frontières de l'Union. Surtout face à des continents appliquant des dispositifs de soutien massifs, comme les USA (IRA) et la Chine ! ■

LA DÉCARBONATION DU SECTEUR AÉRIEN PAR LA PRODUCTION DE CARBURANTS DURABLES

Par **Jean-Pierre Sanfourche**, Rédacteur en Chef, et **Daniel Iracane**, membre de l'Académie des technologies



L'académie des technologies a publié en février 2023 une étude sur la décarbonation de l'aviation, et plus particulièrement sur la production à grande échelle de carburants durables.

Les carburants durables pour l'aviation, désignés par l'acronyme « SAF » (Sustainable Aviation Fuel) seront à terme la principale solution pour décarboner l'aviation.

Les dix ans à venir seront décisifs pour mettre en place une trajectoire industrielle réaliste permettant d'assurer la disponibilité effective des SAF à la hauteur et dans la chronologie fixée par l'Europe.

L'article présenté ci-après est un résumé du rapport de l'Académie des technologies.

Du fait de la croissance du trafic aérien, la part relative des émissions de gaz à effet de serre (GES) croît continûment depuis 30 ans malgré les importants progrès technologiques accomplis. Cette croissance pourrait continuer dans les prochaines décennies en étant tirée par les pays émergents. L'association internationale du transport aérien anticipe une croissance globale du secteur de 3 %, ce qui doublerait le trafic d'ici 2050. En Europe le trafic pourrait être stable.

Tout en préservant le rôle essentiel de l'aviation dans la société, les efforts de sobriété à venir auront un rôle important à jouer sur l'évolution réelle du trafic. Par ailleurs, des gains de consommation significatifs, de l'ordre de 30 %, sont attendus grâce aux nouvelles générations d'avions qui seront déployées dans les prochaines années. Mais la sobriété et l'efficacité énergétique ne suffiront pas pour que l'aviation atteigne sa neutralité carbone d'ici 2050. Un tel objectif passe nécessairement par la production de grandes quantités de carburants durables qui devront progressivement se substituer aux carburants fossiles. C'est le sens de l'initiative européenne ReFuelEU qui a récemment fait l'objet d'un accord par le Conseil et le Parlement européens.

Sur la base du texte ReFuelEU pour l'Europe et selon les projections de l'Association internationale du transport aérien pour le monde, les objectifs de production en carburants durables pour l'aviation seraient en ordre de grandeur les suivants :

Besoin en SAF	2030	2035	2040	2050
Monde	20 Mt	70 Mt	185 Mt	400 Mt
Europe	2.5 Mt	10 Mt	16 Mt	30 Mt
France	0.5 Mt	2 Mt	3 Mt	6 Mt

Tableau 1 – Besoins en « carburant durable » pour que le secteur aérien atteigne le net zéro carbone en 2050. Ces chiffres expriment des ordres de grandeurs qui seront influencés par de multiples facteurs. Néanmoins, la rapidité de leur croissance et leur ampleur en ordre de grandeur constituent une donnée robuste de la trajectoire de décarbonation de l'aviation et fixent ainsi les défis associés.

QUE SONT LES SAF ?

Durant le vol, un carburant durable émet les mêmes quantités de CO₂ qu'un carburant fossile. Mais les carburants durables produisent des émissions nettes de CO₂ nettement inférieures aux carburants fossiles car ils sont produits en prélevant préalablement le carbone dans l'environnement, par la biomasse ou par des moyens technologiques : c'est l'économie circulaire du carbone.

Le kérosène est un mélange d'hydrocarbures contenant essentiellement des alcanes (CH₂)_n pour n compris entre 10 et 14. La production de kérosène durable mobilisera donc trois intrants critiques :

- Le carbone ;
- L'hydrogène ;
- Et bien sûr l'énergie qui peut être apportée par la biomasse et/ou par l'électricité bas carbone.

Les biocarburants

La biomasse résulte du cycle de la matière vivante végétale et animale. Les biocarburants de première génération utilisent une biomasse en compétition avec les cultures alimentaires et sont à ce titre limités réglementairement et progressivement interdits en Europe.

Les biocarburants de deuxième génération apporteront une contribution importante à la production de SAF en utilisant une biomasse issue des graisses animales impropres à l'alimentation, des huiles de cuisson usagées, des déchets municipaux et surtout les résidus agricoles et forestiers.

Les procédés permettant de transformer en carburant les huiles usées et les graisses animales sont bien maîtrisés et déployés industriellement aujourd'hui ; il s'agit des procédés dit oléochimiques ou HEFA pour (*Hydroproceed Ester and Fatty Acids*). La technologie HEFA pourra couvrir quelques pour cents du besoin total.

La biomasse constituée par les résidus forestiers et agricoles peut être transformée en carburant par des procédés thermochimiques (gazéification de la biomasse puis synthèse Fischer-Tropsch) ou par des procédés biochimiques transformant le sucre en alcool (dit *Alcohol to Jet*) ; ces procédés sont bien maîtrisés industriellement mais seulement à une échelle limitée.

Les carburants de synthèse

La voie des carburants de synthèse, sans carbone biogénique, sera à terme majoritaire.

La figure 1 illustre un exemple de procédé. Elle repose sur la capture du CO2 dans l'air puis sur la production de syngaz (H2 + CO) par réduction de l'eau en hydrogène et du CO2 en CO. Le syngaz est ensuite transformé en carburant par la synthèse dite « Fischer-Tropsch » ou par la voie « méthanol ». La coupe kérosène est enfin extraite par les techniques pétrochimiques usuelles avec une sélectivité pouvant aller jusqu'à 80%.

La capture de CO2 dans l'air existe aujourd'hui à petite échelle industrielle et a récemment fait l'objet de financements importants pour son déploiement à grande échelle aux États-Unis. C'est une technologie sur laquelle il convient d'investir significativement car elle est sur le chemin critique et les marges de progrès sont importantes.

La production d'hydrogène et du CO représente 85% de l'énergie nécessaire à la production de carburant de synthèse. Il est donc essentiel d'investir sur les technologies assurant les meilleurs rendements envisageables, comme par exemple l'électrolyse à haute température. Par ailleurs, le déploiement à grande échelle des électrolyseurs (plusieurs GW pour la France) est sur le chemin critique de la production de SAF.

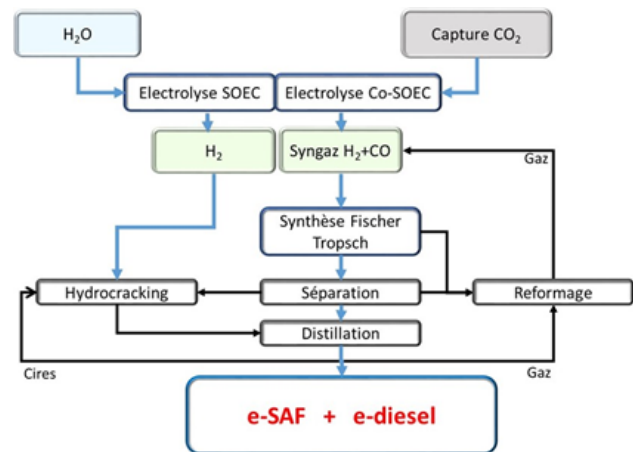


Figure 1 – Schéma illustratif pour la production de SAF par la voie thermochimique. Dans ce schéma, la réduction de l'eau et du CO2 pour la production de syngaz (CO+H2) est réalisée par l'électrolyse à haute température (dite « SOEC » pour 'Solid Oxide Electrolysis Cells'). Le réacteur de synthèse Fischer-Tropsch convertit en hydrocarbure le syngaz (H2+CO) par la réaction $(2n+1) H_2 + nCO \rightarrow C_nH_{2n+2} + nH_2O$. La partie avale du procédé reprend ensuite les fonctions classiques de la pétrochimie.

Les autres briques technologiques sont bien maîtrisées, mais il convient de souligner ici l'importance du travail d'intégration de l'ensemble afin d'en maximiser la performance. Il est donc important que les acteurs concernés, dont bien sur ceux du secteur aérien, investissent sur des premiers projets intégrés pour assurer une courbe de progrès satisfaisante dans la maîtrise et l'intégration des technologies nécessaires.

A maturité technologique, le procédé illustré par la figure 1, peut offrir un rendement de 50 % à 55 %. Le rendement est ici défini comme le rapport entre l'énergie contenue dans le carburant produit à l'énergie électrique qui a été mobilisée pour sa production. Avec un tel rendement et avec une électricité à 50€/MWh, le coût de production des e-SAF peut être légèrement supérieur à 2€/litre. Ce coût serait supérieur au prix

LA DÉCARBONATION DU SECTEUR AÉRIEN PAR LA PRODUCTION DE CARBURANTS DURABLES

futur du kérosène fossile d'un facteur 2 à 4.

Les carburants durables ne seront des SAF qu'à travers une double certification

Les produits pétroliers sont peu dépendants de leurs origines ; ils constituent un marché parfaitement fongible à l'échelle mondiale. Il n'en va pas de même des SAF dont les performances doivent faire l'objet de certifications pour chaque procédé envisagé, ce qui nécessitera la mise en œuvre de processus de traçabilité nouveaux et détaillés qui attesteront la performance de décarbonation et justifieront les prix. Il s'agit là d'un changement de paradigme profond.

La première certification concerne bien sûr la sécurité des vols ; c'est notamment le rôle de ASTM (*American Society for Testing Material*) qui a déjà labellisé plusieurs procédés oléochimiques, biochimiques et thermochimiques. Les taux d'incorporation autorisés aujourd'hui pour ces procédés ne dépassent pas 50% et les efforts, à la fois dans la maîtrise des carburants durables et dans l'évolution de la motorisation, continuent pour permettre des vols en 100% - SAF.

La deuxième certification concerne la performance environnementale de chaque filière de production de SAF ; c'est le rôle de l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI) et de la Commission européenne. Cette performance environnementale, résultat d'une analyse de cycle de vie déterminant les émissions de CO₂ est attachée à chaque carburant SAF ; elle dépend des procédés mis en œuvre mais aussi de la nature des intrants mobilisés. Par exemple, la production de e-SAF avec une électricité dont l'empreinte carbone est supérieure à 180 g CO₂/kWh conduit à des émissions nettes supérieures à celle du kérosène fossile. Cette performance environnementale a un impact direct sur le coût d'abattement du carbone (i.e. le surcoût en € associée à l'élimination d'une tonne de carbone). Elle est déterminante dans le prix du SAF, dans l'application des règles comme les mandats d'incorporation ou les taxes, et dans la compétition sévère des opérateurs pour l'accès à une ressource dont l'offre sera inférieure à la demande dans les deux prochaines décennies.

LA QUESTION CRITIQUE DES RESSOURCES EN BIOMASSE ET EN ELECTRICITE

La production massive de carburants durables sera d'abord pilotée par la disponibilité des intrants biomasse et électricité, en fonction de laquelle, il

sera nécessaire de considérer, en complémentarité, plusieurs voies pour la production de SAF :

- La voie bioSAF (ou biocarburants) : le carbone, l'hydrogène et l'énergie sont apportés par la biomasse. La voie bioSAF est aujourd'hui une réalité industrielle avec les procédés oléochimiques (HEFA) déjà présents sur le marché. Sa disponibilité restera faible en regard des besoins. Cette voie peut utiliser les ressources issues des résidus forestiers et agricoles (biomasse lignocellulosique) mais au prix d'un rendement faible.
- La voie e-bioSAF : la biomasse lignocellulosique est ici utilisée pour apporter le carbone et une partie de l'hydrogène, l'autre partie étant produite par électrolyse. On parle de e-bioSAF car l'hydrogène provient à la fois de la biomasse et de l'électrolyse de l'eau. L'apport d'hydrogène à la biomasse permet de doubler le rendement d'utilisation de cette biomasse en établissant le rapport optimal hydrogène / carbone pour la production de carburant.
- La voie e-SAF (ou carburant de synthèse) : le carbone est ici extrait de l'atmosphère ou des rejets industriels tandis que l'hydrogène est produit par électrolyse de l'eau en mobilisant une électricité « bas carbone ». Cette voie est ambitieuse sur le plan industriel et énergétique ; elle sera néanmoins incontournable dans la trajectoire de décarbonation de l'aérien, mais aussi du maritime et d'une partie du routier lourd.

La figure 2 (p. 10) donne les ordres de grandeurs des volumes d'intrants (en biomasse et électricité) nécessaires pour la production de carburants durables.

La comparaison de ces volumes d'intrants requis avec les objectifs du tableau 1 permettent de déterminer une trajectoire pour la production de SAF.

Les ressources en biomasse sont importantes mais limitées physiquement, notamment en lien avec les enjeux de la déforestation et la préservation de la biodiversité et les incertitudes liées au changement climatique. Par ailleurs, la mise en place de filières économiques pour la collecte de cette ressource dispersée reste un enjeu économique et sociétal qui sera progressivement clarifié par des projets qui démarrent comme BioTJet¹ dans le sud-ouest de la France. Face aux limitations de disponibilité, la biomasse fera l'objet de compétitions sévères entre les différents secteurs de l'économie qui doivent répondre aux mêmes exigences de décarbonation. La

AÉRONAUTIQUE

LA DÉCARBONATION DU SECTEUR AÉRIEN PAR LA PRODUCTION DE CARBURANTS DURABLES

gestion du capital de biomasse nécessitera de ce fait des arbitrages sociétaux et économiques complexes.

Pour la France, l'utilisation de la biomasse pourrait satisfaire une partie du besoin de l'ordre d'une vingtaine de pourcents (dont quelques pourcents par la voie HEFA).

Dans la deuxième moitié de la prochaine décennie, cette limitation impose de trouver un relais de croissance afin de poursuivre la trajectoire du tableau 1 ; ce relais de croissance sera apporté par le kérosène de synthèse qui soulève alors un nouveau défi : un besoin considérable en électricité bas carbone.

Avec les meilleures technologies et à l'issue du processus de maturation industrielle, la décarbonation du secteur aérien mobilisera, en France à l'horizon 2050, une énergie électrique de l'ordre d'une centaine de TWh. Le besoin en électricité pour la décarbonation de l'aviation est important. Il doit être mis en regard de la dynamique de la décarbonation générale de la société qui nécessitera un quasi-doublement de la production électrique d'ici 2050. Le besoin lié à l'aviation représenterait alors 10 % de la consommation totale. Cette perspective sur les chiffres précis pour 2050 évoluera au grès de la conjoncture mondiale, des efforts de sobriété et in fine des priorités de la société. Mais les développements technologiques et les premiers déploiements industriels liés à la production

de carburants durable sont aujourd'hui un choix sans regret car ils ouvrent la possibilité de piloter la trajectoire de décarbonation.

LA FRANCE EN BONNE POSITION POUR LANCER LES FILIÈRES INDUSTRIELLES E-BIOSAF ET E-SAF

La disponibilité des intrants ne peut être examinée que par pays. Certains pays en Amérique du sud ou en Afrique disposeront d'un important potentiel en biomasse ou en électricité renouvelables ; ils bénéficieront d'investissements internationaux pour le développement d'une industrie de production de carburants durables qui sera exportée vers les pays et les clients investisseurs.

En Europe, du fait de leur électricité toujours carbonée, de nombreux pays n'auront d'autres choix que de se tourner vers des stratégies d'importation à partir des zones à fort potentiel.

Si la France prendra sa part dans ces stratégies d'importation, elle est un des rares pays à pouvoir déployer sur son territoire une industrie de production de carburants durables grâce à son électricité très décarbonée.

Ainsi, pour satisfaire son besoin en carburants SAF jusqu'en 2040, la France devra mobiliser annuellement une vingtaine de TWh et 6 à 7 Mt de biomasse sèche.

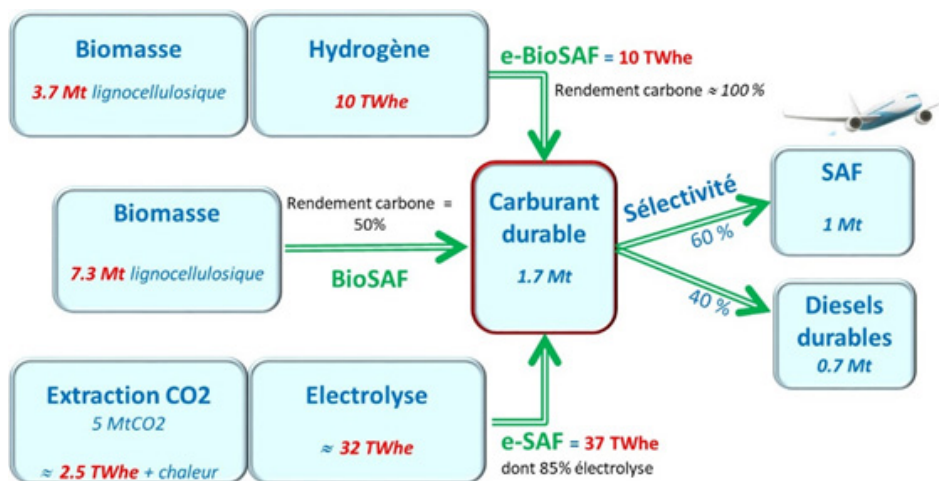


Figure 2 – Les trois voies de production de carburant durable : e-bioSAF, bioSAF et e-SAF. Les données correspondantes aux procédés thermochimiques appliqués à une biomasse lignocellulosique. Les chiffres en rouge indiquent la consommation de biomasse (en million de tonnes de biomasse sèche) et d'électricité (en terawatt-heure électriques) pour produire 1 million de tonnes de SAF et 0,7 million de tonnes de coproduits (essentiellement des diesels).

LA DÉCARBONATION DU SECTEUR AÉRIEN PAR LA PRODUCTION DE CARBURANTS DURABLES

Ceci est réaliste. En effet, dans les années passées, la France exportait une cinquantaine de TWhe. De plus, avec un parc nucléaire qui retrouve son efficacité et le déploiement croissant de l'éolien et du photovoltaïque, la France disposera sur la prochaine décennie d'un surplus de l'ordre d'une centaine de TWhe dont une partie significative pourra assurer l'électrification croissante des usages et la production de molécules énergétiques à bas bilan net carbone (dont les SAF).

Par contre, pour la décennie 2040-2050, la trajectoire de décarbonation de la société, dont l'aviation, impose un effort d'investissement important sur un mix électrique qui devra viser globalement un doublement de sa production. C'est l'enjeu du nouveau nucléaire, des efforts sur l'éolien *off-shore* et des mesures d'accélération sur le déploiement des générateurs électrogènes. L'investissement sur un mix électrique robuste et à la hauteur du besoin donc est essentiel.

Avec la biomasse disponible et son électricité profondément carbonée, la France a l'opportunité de d'initier une nouvelle filière industrielle de grande ampleur pour la production de SAF. Ceci requière des investissements technologiques et industriels lourds qui peuvent bénéficier de coalitions entre le public et le privé car cet effort est à la croisée de plusieurs

intérêts stratégiques portés :

- Par l'état dans le cadre des objectifs de réindustrialisation et de souveraineté énergétique ;
- Par les industries de l'énergie dans le cadre de leur mobilisation vers la décarbonation des usages ;
- Par les secteurs aériens comme maritimes qui doivent sécuriser leur trajectoire future.

CONCLUSION

Y a-t-il un chemin possible pour la décarbonation de l'aviation d'ici à 2050 ? La réponse est oui. Mais la production massive de SAF nécessite la mobilisation d'efforts considérables, notamment dans la production d'électricité « bas carbone » et dans le lancement d'une filière industrielle de grande ampleur. Ces efforts seront les mêmes, en nature et en ampleur, que ceux qui seront nécessaires à la décarbonation de l'ensemble des secteurs économiques.

1 - Le projet BioTJet est un investissement de 1 G€ situé sur le bassin de Lacq.

<https://www.ifpenergiesnouvelles.fr/sites/ifpen.fr/files/inline-images/202306%20CP%20ElyseEnergy%20implantation%20biotjet%20-%20%2016%20Juin%202023.pdf>

Pour accéder au Rapport de l'Académie des technologies

<https://www.academie-technologies.fr/publications/la-decarbonation-du-secteur-aerien-par-la-production-de-carburants-durables-rapport-et-avis/>

L'ÉVOLUTION DE LA RÉGLEMENTATION DU VOL TOUT TEMPS

par **Serge Germanetti**, expert Système et avionique Hélicoptères, récemment retraité d'Airbus, membre de la Commission Technique Hélicoptères et VTOL (*Vertical Take Off and Landing*).

Cet article démontre, si besoin en est, comment deux sociétés savantes de renommée internationale, au travers de groupe de travail regroupant des industriels concurrents, des chercheurs, des opérationnels, etc... peuvent faire avancer les choses. Ici, il s'agit d'un progrès en termes de réglementation internationale.

De l'influence de la Commission technique hélicoptères sur l'évolution de la réglementation du vol tout temps.

INTRODUCTION

Dès 2016 Didier Nicolle (Membre de la 3AF et responsable certification hélicoptères au CEV d'Istres) avait identifié des désalignements et certaines lacunes entre règlements Européens et Américains sur le sujet du vol tout temps avec en particulier une différence notable dans le crédit accordé à l'usage des systèmes dits JVN (Jumelles de Vision Nocturne par Intensification de Lumière).

Dans une étude sur les technologies améliorant la sécurité des vols, conduite en collaboration entre ONERA, Airbus Helicopters, et la 3AF et dont le rapport a été publié en 2017 à l'AHS (*American Helicopter Society*) devenue la VFS (*Vertical Flight Society*), les solutions à base de systèmes d'amélioration de la vision étaient aussi identifiées pour améliorer la sécurité du vol de nuit. C'est dans ce contexte que Airbus Helicopters a fait voler un démonstrateur intégrant plusieurs technologies candidates.

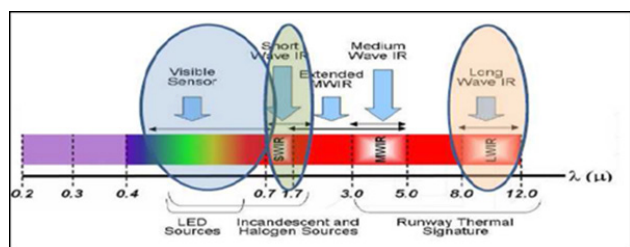


Démonstrateur DORA

LE CONSTAT

Le vol de nuit non aidé est difficile car les équipements, à l'exception des systèmes de navigation, sont mal adaptés. L'éclairage interne de la planche de bord crée un conflit entre la lecture des instruments de bord et la perception de l'environnement extérieur. Les phares n'éclairent qu'au décollage ou à l'atterrissage qu'à faible distance et dans une zone étroite et en croisière l'horizon réel est difficilement perceptible et la charge de travail importante. Toutes ces difficultés ont conduit les règlements Français puis Européen à imposer des minima météorologiques élevés pour le vol VFR (*Visual Flight Rules*) et VFR de nuit.

De son côté, le vol de nuit aidé a progressivement été reconnu par la FAA (*Federal Aviation Administration*) qui en a vanté les mérites pour la sécurité des vols sans cependant aller au bout de la démarche en ne finalisant pas les règlements nécessaires à l'extension du domaine de vol sauf pour certaines missions spécifiques telles que l'évacuation médicale et sanitaire.



Bandes de fréquences utiles et sources lumineuses associées

Cette position a participé au développement significatif de vol aidé par jumelles de vision nocturne en opérations civiles en négligeant quelque peu l'ensemble des autres solutions issues des technologies plus récentes telles que caméra infrarouge, vision synthétique et autres, utilisant d'autres bandes de

fréquence, où l'atmosphère est transmissive, telles que celles qu'on peut identifier sur le schéma suivant.

LE CONTEXTE 3AF VFS

Depuis quelques temps la 3AF avait signé un accord de partenariat avec le VFS ce qui permettait d'avoir une approche globale et mondiale de la réglementation. La participation de Bell ou autres hélicoptéristes avait déjà permis d'aborder la question du givrage pour les hélicoptères. C'est dans ce contexte que la 3AF, représentée par Serge Germanetti (Membre du Comité Hélicoptère et employé d'Airbus Hélicoptères) a proposé en 2019 une démarche réglementaire permettant de statuer sur les moyens à mettre en œuvre pour qualifier les systèmes de vision tout temps.

L'ensemble des solutions techniques existaient et venaient d'être démontrées et qualifiées sur voilures fixes dans le cadre de l'atterrissage sur aéroport non équipé de balises de type approche conventionnelle aux instruments. Fort de cette expérience, la voie était ouverte pour une approche de même type pour hélicoptère.

Mais l'ambition était autre puisqu'il fallait aussi ouvrir le domaine spécifique aux hélicoptères tels qu'atterrissage sur plateforme et vol près du terrain, afin de servir les missions de recherche et de sauvetage.

Après quelques tentatives pour trouver des partenaires aussi bien hélicoptéristes, qu'équipementiers, la 3AF, le VFS et Airbus ont sollicité formellement la FAA (*Federal Aviation Administration*) et l'EASA (*European Aviation Safety Agency*) et c'est sous l'impulsion des autorités américaines qu'un groupe de travail du SAE (*Society of Automotive Engineers*) a été désigné pour traiter le sujet.

CONCLUSION

Le résultat de ce processus entrepris sur plusieurs années se concrétise aujourd'hui. Le SAE (*Society of Automotive Engineers*) qui a désigné le sous-groupe G10V (*Vertical Lift*), avec la participation des plus grands équipementiers et le suivi FAA et EASA, a rédigé en trois ans, et malgré la crise COVID, un nouvel ARP (*Aerospace Recommended Practice*) qui a été suivi dans sa gestation par notre représentant 3AF. L'ARP 8459 est en phase de commentaires, afin d'être rendu public cette année : "*Human Engineering Considerations Associated with Design and Airborne Implementation of Vertical Flight Aircraft Aided Flight Vision Systems*". Il régira pour les aspects facteurs humains, la qualification des systèmes et proposera des moyens d'augmenter le domaine de vol des hélicoptères afin que les autorités de certification puissent faire évoluer les règlements suivant la même procédure que celle qui a été suivie par les voilures fixes. ■

DÉFENSE ANTI-MISSILE LA CONFÉRENCE « IAMD » A CÉLÉBRÉ SES 20 ANS À PORTO

par Emmanuel Delorme co-chair (MBDA-Systems), Yannick Devouassoux co-chair (Ariane-Group), Luc Dini co-chair (THALES LAS), Co-présidents de 3AF *International conference on IAMD*

LA CONFÉRENCE INTERNATIONALE 3AF IAMD (INTEGRATED AIR AND MISSILE DEFENSE) A CÉLÉBRÉ SES 20 ANS À PORTO

Tous les deux ans, la communauté de la défense aérienne et antimissile intégrée (IAMD) se réunit à l'occasion de la conférence internationale 3AF sur l'IAMD pour discuter de l'état du domaine d'un point de vue politique/militaire/industriel. Cette année, la conférence s'est tenue à Porto du 13 au 15 juin, avec 250 participants venus de 17 pays (cf. Figure 1). Il s'agissait d'une édition spéciale, puisque la conférence fêtait ses 20 ans, introduite par son directeur général et les trois co-chairs de la conférence (cf. Figure 2), une bonne occasion de réfléchir sur son évolution.

Une brève revue de l'évolution de l'IAMD à travers les agendas de la conférence.

La conférence est née en 2003 à Arcachon (près de Bordeaux, France), sur la base d'une analyse commune : 1/ de la DGA, 2/ de l'association française de l'aéronautique et de l'astronautique - 3AF - et 3/ d'un des fabricants de missiles balistiques en Europe, les lanceurs EADS à l'époque, ArianeGroup maintenant, qu'il manquait en Europe un forum non gouvernemental pour discuter des aspects techniques de la défense antimissile balistique (BMD). À l'époque, la défense antimissile balistique de théâtre était encore essentiellement réservée aux puissances nucléaires et l'OTAN commençait tout juste à évaluer la faisabilité politique d'une défense contre les missiles balistiques de théâtre, la faisabilité technique étant étayée par des contrats avec l'industrie.

Cette première édition a été un succès avec un fort soutien de l'industrie américaine et israélienne (cf. Figure 3). La première journée a été consacrée à l'intervention de hauts représentants gouvernementaux pour poser le contexte politico-militaire. Les jours suivants ont été consacrés à des sessions techniques pour discuter des questions clés liées à la faisabilité de la défense antimissile balistique : analyse des menaces, détection, suivi et discrimination, interception et commandement et contrôle. Cet



Figure 1 : de bonnes statistiques de la conférence en introduction.



Figure 2 : Michel Assouline directeur général de 3AF (en haut) introduit la conférence IADM15, avec les trois co-chairs : À gauche, Emmanuel Delorme (MBDA), Au centre, Luc Dini (THALES), À droite, Yannick Devouassoux (ArianeGroup).



Figure 3 : Uzi Rubin (à droite) pionnier de la défense anti-missile israélienne, ancien directeur du programme Arrow, ancien directeur de l'IMDO (Israel Missile Defense Office), et l'un des premiers représentants israéliens à soutenir sans faiblesse la conférence Missile Defense de 3AF depuis la 1^{ère} édition à Arcachon.

DÉFENSE ANTI-MISSILE LA CONFÉRENCE « IAMD » A CÉLÉBRÉ SES 20 ANS À PORTO

Du côté européen, le soutien s'est accru avec la participation active de Thales (France, Pays-Bas) et de TRS (joint-venture transatlantique entre Thales et Raytheon) et du leader européen des missiles MBDA, mais aussi d'autres sociétés européennes comme BAE et IABG. Au fil du temps, des entreprises et des organismes de recherche d'autres pays, comme Aselsan en Turquie et l'Agence sud-coréenne pour le développement de la défense, ont rejoint la liste des sponsors ou des participants réguliers. Cette conférence a toujours été présidée par l'industrie, d'abord par ArianeGroup, rejointe par Thales en 2008 et finalement MBDA en 2017, démontrant à la fois l'attention croissante portée à la défense antimissile en Europe par les principaux groupes industriels européens ainsi que la convergence entre la défense antimissile balistique (le point de départ) pour contrer les missiles balistiques et la défense aérienne pour contrer les menaces aérobies, notamment les missiles de croisière. La coordination de cette conférence avec celle dirigée par la Missile Defense Agency - MDA américaine est assurée par la participation des présidents de la conférence 3AF au sein de son comité de programme de la conférence de la MDA.

Avec la participation de l'OTAN (cf. Figure 4), le sujet a pris suffisamment d'ampleur pour justifier une périodicité annuelle de la conférence, dont l'existence a permis de témoigner des évolutions et d'apporter une modeste contribution aux tournants qui ont suivi. En 2006, l'OTAN a décidé de développer un programme de défense active multicouches contre les missiles balistiques de théâtre (ALTBMD) pour protéger les troupes contre les missiles balistiques. En 2008, la conférence s'est tenue à Prague, au moment de la signature d'un accord entre les États-Unis et la République tchèque pour construire un troisième site d'intercepteurs basés au sol (*Ground-Based Interceptor - GBI*) en Europe afin de mieux protéger les États-Unis contre les attaques de missiles balistiques iraniens. En 2009, l'administration Obama a changé de cap et a décidé qu'une approche adaptée et progressive en Europe (EPAA), basée sur des sites d'intercepteurs SM-3 en Pologne et en Roumanie et d'un radar avancé en Turquie, était une meilleure solution compte tenu de la situation technique et politique du pays à ce moment-là. L'EPAA a été proposée comme contribution américaine à la défense de l'OTAN et après d'autres études de faisabilité sur la défense antimissile territoriale, l'OTAN a décidé en 2010 d'étendre le programme ALTBMMD pour protéger également son territoire et

sa population. Le programme a été rebaptisé NATO BMD. L'année 2010 a également été une date clé avec la toute première démonstration de la capacité intermédiaire ALTBMMD (InCa) qui a été testée avec des prototypes des composants cœurs de commandement et de conduite de l'OTAN, AirC2 et ACCS TMD et déclarée opérationnelle au sommet OTAN de Chicago en 2012. Bien entendu, ces évolutions en Europe se sont heurtées dès le début à une forte opposition de



Figure 4 : Panel Government views avec la participation de gauche à droite : Mme Radoslava Stefanova (OTAN, Division Investissement) responsable de la BMD, M. William Shobert, US Department of State, Deputy Director of the Office of Emerging Security Challenges in the Bureau of Arms Control, Ingénieur général Le Meur Direction générale des relations internationales et de la stratégie – Ministère des armées (France).

la part de la Russie, qui a été invitée à exprimer sa position lors du premier jour de la conférence via plusieurs représentants officiels. Ce n'a plus été le cas après l'invasion de la Crimée en 2014. Pendant ce temps, les roquettes pleuvaient sur Israël et l'Iran développait un arsenal balistique considérable, ce qui a entraîné le développement rapide d'une défense antimissile à plusieurs niveaux dans le pays.



Figure 5 : major general (ret) Trey Obering – Ancien directeur de la Missile Defense agency US, participant à la conférence IAMD en 2008, 2011 et 2023.

Le comité directeur de la conférence 3AF IAMD a pris plusieurs initiatives pendant la période des négociations sur la coopération en matière de défense antimissile entre l'OTAN, la Russie et les États-Unis :

1. En 2008, la Russie a été invitée à participer à la conférence de défense antimissile 3AF à Prague lorsque le général Trey Obering (cf. Figure 5), alors directeur de la MDA américaine, a signé un accord de coopération sur le radar BMD avec le Premier ministre tchèque. Cette participation, démontrant l'ouverture d'esprit de l'industrie américaine et européenne à une éventuelle coopération sous l'égide des discussions officielles entre les États-Unis, l'OTAN et la Russie, s'est poursuivie à Lisbonne (2010), à Saint-Sébastien (2011), à Paris (2012) et enfin à Bucarest (2013). Cette période a été utile pour analyser et comparer la perception des rôles de la défense antimissile des deux côtés.

2. La 3AF a envoyé des représentants de l'industrie européenne à l'exposition sur la défense antimissile de l'OTAN qui a eu lieu lors du sommet de l'OTAN à Chicago, en 2012, pour mettre en valeur des contributions de l'industrie européenne à l'effort de défense antimissile, en complément des efforts considérables des États-Unis. Un des sujets concernait les réseaux multi-capteurs. Ce sujet a ensuite été à nouveau discuté entre la 3AF, des représentants de l'industrie et des groupes de réflexion américains suite à une invitation de l'Atlantic Council US à un échange de vues à Washington DC en 2013. Le livre blanc rédigé par l'industrie américaine et européenne lors de la conférence 3AF Missile Defense à Mayence (2014) a permis de démarrer une étude NIAG (NATO Industrial Advisory Group) sur les clusters multi capteurs en 2017, rassemblant 33 entreprises de 17 pays.

Cela montre ce qui peut être réalisé grâce à la conférence en profitant de la présence de représentants de l'industrie et du gouvernement pour explorer, au fil du temps, des solutions techniques et des moyens de coopération pour les développer.

Au cours de ces deux décennies, des conflits ont émergé, confirmant ou réorientant les axes de travail de la communauté. Les missiles balistiques à courte portée ont été massivement utilisés en Syrie à partir de 2014, puis par les Houthis contre l'Arabie Saoudite à partir de 2015 avec près de 1 000 missiles tirés. Les défenses antimissiles ont prouvé leur efficacité lors de ces événements, 20 ans après un bilan décevant lors

de la première guerre du Golfe en 1991, renforçant ainsi l'utilité de la BMD.

Une autre tendance a été mise en lumière avec l'attaque d'une raffinerie saoudienne par des drones en 2019 ainsi que lors du conflit du Haut-Karabakh. Alors que les missiles balistiques étaient devenus « l'aviation des pauvres », les drones sont devenus les « missiles de croisière des pauvres ».

Cela a été bien perçu par l'OTAN, qui est passée de la BMD à l'IAMD en 2014, ce qui a naturellement conduit à l'évolution du périmètre de la conférence, originellement consacrée à la défense antimissile depuis 2003, en une conférence sur la défense antiaérienne et antimissile intégrée (*Integrated Air and Missile Defence – IAMD*) en 2017 à Stockholm.

Après des décennies de développement, les missiles hypersoniques arrivent désormais à maturité et sont utilisés dans la guerre en Ukraine, aux côtés de toutes les menaces aériennes et balistiques mentionnées précédemment. La défense est désormais confrontée à un très large éventail de menaces, allant des drones bon marché, lents, volant à basse altitude et à faible signature radar, aux missiles balistiques intercontinentaux ultrarapides et aux planeurs hypersoniques très difficiles à développer et à intercepter. À mesure que la disponibilité et l'efficacité des défenses aériennes traditionnelles augmentent, ces deux extrémités du spectre sont (du moins en début de conflit) des axes privilégiés par le camp offensif pour saturer ou pénétrer les défenses.

C'est pourquoi la conférence IAMD aborde les thèmes de la menace et de la défense pour couvrir tout le spectre, des roquettes aux missiles balistiques et aux armes antisatellites, en passant donc par la surveillance spatiale.

TENDANCES PERÇUES DURANT LES ÉCHANGES DE LA 15^{ÈME} CONFÉRENCE IAMD

La 15^{ème} conférence IAMD, grâce aux nombreuses interventions de responsables gouvernementaux, d'universitaires et d'experts techniques, a fourni un aperçu très exhaustif des enjeux politiques, militaires et techniques actuels, du moins en ce qui concerne les pays participants. Cet article tente de fournir un résumé contextualisé des discussions riches et diverses tenues lors de la conférence.

CONTEXTE POLITIQUE ET MILITAIRE

Les conflits récents ont confirmé la nécessité d'une défense aérienne et antimissile intégrée. Les budgets de défense augmentent partout dans le monde, et l'IAMD fait toujours partie du portefeuille de capacités à acquérir et/ou à développer, pour des raisons propres à chaque pays. Une ou plusieurs des raisons suivantes s'appliquent :

- Alors que la dissuasion nucléaire reste au cœur de la défense des pays nucléaires et de l'OTAN, l'IAMD change le calcul d'un adversaire, car il augmente l'échelle d'attaque requise pour atteindre ses objectifs et augmente donc pour lui le risque d'atteindre un éventuel seuil nucléaire. D'ailleurs, l'agression russe contre l'Ukraine montre une fois de plus que la dissuasion nucléaire tient toujours : les pays de l'OTAN ne sont pas ciblés par la Russie malgré l'aide considérable apportée à l'Ukraine, étant entendu que les armes de l'OTAN livrées à l'Ukraine ne doivent pas être utilisées contre le territoire russe.
- L'IAMD fournit une capacité d'antiaccès : tant que les défenses aériennes tiennent, les plateformes aéroportées nécessaires aux campagnes de bombardements lourds sont bannies du ciel. L'IAMD constitue donc une capacité attractive pour les pays confrontés à une force aérienne importante. Les récents succès d'exportation des S-300 et S-400 peuvent être considérés sous cet angle ;
- L'IAMD contrecarre les armes de déni de zone telles que les missiles de frappe de précision (missiles de croisière et missiles balistiques manœuvrant), un impératif pour tout pays disposant d'une force expéditionnaire. La défense antimissile maritime procède de cette logique.
- L'IAMD protège les infrastructures économiques clés telles que les centrales électriques, les raffineries et les centres de décision, toutes nécessaires à la poursuite d'un effort de guerre, et protège les centres de population pour préserver le moral.
- L'IAMD est facilitatrice d'intégration militaire car, pour faire simple, plus les systèmes coopèrent par échange d'informations, plus ils ont de capacités et plus ils sont efficaces. L'IAMD contribue donc à consolider les alliances et constitue un fort outil d'influence.

• L'IAMD est une mission très exigeante qui nécessite une innovation technologique et opérationnelle, tirant l'industrie vers l'excellence. L'excellence se répand dans l'industrie et est essentielle à l'exportation, ce qui rend les capacités IAMD plus abordables pour ses développeurs. L'IAMD est l'un des piliers de la stratégie de défense de l'OTAN. Cette capacité, fondée sur l'interopérabilité des systèmes nationaux, est progressivement déployée. Les nouveaux venus en cours d'accès à l'OTAN Suède et Finlande apporteront des capacités supplémentaires à l'Alliance.

Au cours des trois dernières années, plusieurs pays européens ont décidé ou confirmé leur engagement à améliorer leurs capacités existantes par le développement ou l'acquisition de nouveaux moyens : des systèmes spatiaux d'alerte précoce et d'interception capables de détecter et de se défendre contre des missiles hypersoniques sont étudiés dans le cadre du projet de coopération structurée permanente¹ *Timely Warning and Interception with Space-based Theater - TWISTER*² - coordonné par la France avec la Finlande, l'Allemagne, l'Italie, les Pays-Bas et l'Espagne. Cette volonté politique est soutenue par le Fonds européen de la défense, qui subventionne un projet d'étude de faisabilité d'un système d'alerte précoce de défense antimissile de théâtre basé dans l'espace et 2 projets pour la phase de conception d'un intercepteur contre les menaces haut de spectre, notamment hypersoniques, dont MBDA coordonne l'un des consortiums. L'Allemagne a signé un accord non contraignant avec 14 pays autour de l'Initiative européenne Sky Shield (*European Sky Shield Initiative - ESSI*), une architecture de défense antimissile construite autour des systèmes de défense antimissile américains Patriot, allemands Iris-T et israéliens Arrow 3. Le Royaume-Uni a prévu le déploiement d'un radar de défense antimissile amélioré d'ici la fin de la décennie. La France et l'Italie ont lancé le programme SAMP/T NG (développement et production), une évolution du système de défense aérienne SAMP/T étant actuellement déployé en Ukraine, avec notamment de nouveaux radars AESA, de nouveaux modules d'engagement et un missile Aster amélioré offrant ainsi non seulement une capacité améliorée mais également un fort potentiel de croissance. En parallèle, les Pays-Bas ont développé de nouveaux radars AESA multi-missions SMART-L, déployés pour la capacité à longue portée de l'Armée de l'Air et pour la Marine.

Israël, sous la menace constante des roquettes et des missiles, renforce son architecture de défense à plusieurs couches avec l'ajout du système de défense *David's Sling* et développe l'*Arrow 4* pour succéder à l'*Arrow 2*. Rafael s'est associé à Raytheon pour produire l'*Iron Dome* aux États-Unis, un système qui a montré son efficacité face aux attaques de roquettes.

La Corée du Sud développe des systèmes indigènes pour se protéger contre la Corée du Nord, qui augmente et teste régulièrement son arsenal de missiles. Le Japon poursuit sa coopération de longue date avec les États-Unis pour faire de même.

Les États-Unis améliorent l'ensemble de leurs capacités, développent de nouveaux systèmes pour faire face aux menaces hypersoniques et renforcent leurs alliances pour garder sous contrôle leurs deux concurrents stratégiques, la Russie et la Chine. L'architecture de défense nationale est étendue à l'espace pour permettre la détection et le suivi mondial 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7 des menaces liées aux missiles, y compris les missiles hypersoniques. Pour ce faire, des constellations de satellites sont lancées en orbite terrestre basse pour détecter les lanceurs (couche de détection), détecter les lancements (alerte précoce), suivre les missiles pendant leur vol (couche de trajectographie) et échanger des données à faible latence (couche de communication).

En réaction à la valeur croissante des fonctions spatiales, des moyens de guerre spatiale sont développés, testés et déployés : satellites espions, armes antisatellites cinétiques et non cinétiques, guerre électronique et cybercapacités pour brouiller, neutraliser ou même prendre le contrôle de capacités spatiales.

L'extrémité inférieure du spectre des menaces est de plus en plus préoccupante, dans la mesure où les drones ne sont plus seulement les missiles des pauvres mais aussi les nouveaux engins explosifs improvisés. À cet égard, les questions de sécurité rejoignent les questions militaires et des solutions moins coûteuses et efficaces contre ces menaces sont en cours d'élaboration.

Les aspects techniques des menaces et des moyens de défense mentionnés précédemment ont tous été discutés lors de la conférence et sont développés ci-après.

ÉVOLUTION DE LA MENACE

À mesure que de nouveaux systèmes de missiles apparaissent sur la scène mondiale, ils sont analysés par la communauté du renseignement et par des experts techniques pour estimer leurs performances, évaluer les technologies impliquées et leurs limites, positionner le pays sur l'échelle de l'expertise en matière de missiles, et pour estimer les contraintes opérationnelles et les concepts d'opérations. La conférence consacre une demi-journée à ces analyses par d'éminents experts dans le domaine. Cette année, un ICBM russe, un missile balistique nord-coréen doté d'un planeur hypersonique, des missiles balistiques aéroportés (*Air Launch Ballistic Missile - ALBM*), des menaces antinavires et l'utilisation des missiles de croisière dans les conflits étaient au menu.

Les cas russes et nord-coréens abordés démontraient les efforts de rétro-ingénierie visant à confirmer les déclarations officielles et les performances des missiles après de récents tests. La présentation des ALBM était une rétrospective sur les développements de tels systèmes, revenus sous le feu des projecteurs avec l'utilisation du Kinzhal (Iskander aéroporté) par la Russie en Ukraine. Malgré de nombreux développements dans le passé, le concept d'ALBM est devenu démodé car remplacé par des missiles de croisière moins chers et plus compacts. L'amélioration des défenses antimissiles est la raison pour laquelle les ALBM sont désormais plus pertinents car ils sont plus difficiles à intercepter que les missiles subsoniques. Depuis la guerre des Malouines, les missiles antinavires sont reconnus par un large public comme un élément clé de la suprématie maritime. Une présentation a donné un aperçu de ces systèmes. Enfin, une synthèse sur l'utilisation des missiles de croisière dans les conflits récents a été réalisée - une famille qui comprend les drones (sans pilote, automoteurs, autoguidés) - pour conclure que leur menace était jusqu'à récemment sous-estimée par rapport aux missiles balistiques.

ARCHITECTURES DE DÉFENSE

Les architectures de défense doivent s'adapter à l'évolution des menaces en termes de performances, de volume et de concepts d'utilisation. À mesure que de nouveaux systèmes offensifs apparaissent, ils ne remplacent pas nécessairement les anciens, de sorte que le spectre des menaces à gérer s'élargit. Comme pour tout le reste dans nos sociétés, le rythme

DÉFENSE ANTI-MISSILE LA CONFÉRENCE « IAMD » A CÉLÉBRÉ SES 20 ANS À PORTO

des combats s'accélère également. C'est un véritable défi pour les architectures de défense. Dans le cadre d'une attaque bien coordonnée, plusieurs systèmes de défense doivent coopérer de manière transparente et en temps réel pour être efficaces. Les architectures de défense sont des systèmes de systèmes au sens classique du terme : un ensemble de systèmes d'armes développés indépendamment et coordonnés par des fonctions de commandement et de conduite. « Contrer les menaces avancées grâce à une intégration avancée », disait l'une des présentations. Ainsi, les concepts de mise en réseau, d'interopérabilité, de modularité, d'architectures ouvertes, d'architectures en couches et d'évolutivité ont été longuement discutés. Pour maîtriser les coûts, il convient également d'envisager une adaptation des systèmes de défense existants ou des concepts d'opérations. Chaque conflit est riche d'enseignements dans ce domaine ; la guerre en Ukraine ne fait pas exception et a été présente dans de nombreux discours.

MODÉLISATION ET SIMULATION

La complexité de l'IAMD moderne ne peut être gérée sans outils appropriés. La modélisation et la simulation constituent un élément clé de la boîte à outils. Grâce à la simulation des architectures de défense, nous pouvons :

- Affiner progressivement les concepts d'opérations en les jouant, voir les résultats et fermer la boucle pour adapter les concepts ;
- Prédire et évaluer les performances ;
- Définir les exigences pour les futurs systèmes ;
- Communiquer efficacement avec les parties prenantes et en particulier les décideurs ;
- Former le personnel militaire.

Les capacités de simulation d'architecture s'étendent pour intégrer de nouvelles menaces, notamment les systèmes hypersoniques, les nouveaux systèmes de défense et le champ de bataille spatial. Même si la puissance de calcul est largement suffisante, les questions de représentativité des modèles sont toujours au cœur des discussions ; le niveau de détail requis dépend des besoins des utilisateurs.

À mesure que les menaces évoluent, la manière dont nous devons évaluer les performances de l'architecture évolue également. Par exemple, si le concept de zone défendue contre des missiles purement balistiques est relativement simple à comprendre

et à mettre en œuvre, c'est une autre histoire contre les missiles balistiques à planeurs hypersoniques. La définition et la visualisation d'une telle zone défendue ont fait l'objet d'une des présentations.

Bien entendu, le rôle traditionnel de la simulation consistant à évaluer et vérifier une conception demeure et a été discuté lors de la conférence, principalement autour de la simulation de planeurs hypersoniques et de missiles de croisière hypersoniques. La physique impliquée dans le vol est complexe et dépend des conditions atmosphériques et des propriétés des matériaux. La validation du modèle est donc essentielle. Disposer de données validées sur les matériaux et de modèles validés par des essais en vol est obligatoire pour prédire les trajectoires avec une précision maîtrisée.

Un autre domaine où la simulation est largement utilisée est la prédiction des signatures radar ou infrarouge des menaces, dans toutes les phases de vol. Il s'agit d'une entrée essentielle pour évaluer les fonctions de détection et de discrimination, et une bonne représentativité est nécessaire pour évaluer en toute confiance les performances de l'architecture. Là encore, la physique est complexe, les données d'entrée sont difficiles à obtenir et des mesures réelles sont nécessaires pour valider les modèles. Rares sont ceux capables d'aborder ce sujet très sensible étroitement lié au renseignement.

INTERCEPTEURS ET SYSTÈMES D'ARME

Il existe désormais plusieurs systèmes d'armes et intercepteurs sur le marché. Certains d'entre eux ont été présentés plus en détail lors de la conférence : SAMP/T (versions actuelles et NG) ainsi que PAAMS et *Sea Viper* à base du missile Aster, l'IRIS-T.

De nouveaux concepts ont également été discutés, notamment ceux visant à intercepter les armes hypersoniques. Il s'agit d'un problème difficile, où l'intercepteur est le dernier maillon d'une chaîne qui doit fonctionner parfaitement pour espérer neutraliser une menace aussi rapide et maniable.

Enfin, des échanges ont eu lieu sur des questions techniques pointues telles que les algorithmes de pilotage et les systèmes de propulsion. Ces sujets sont étroitement liés : un intercepteur doit rattraper sa cible. Cela nécessite un système de pilotage très réactif et flexible. À mesure que l'altitude d'inter-

DÉFENSE

DÉFENSE ANTI-MISSILE LA CONFÉRENCE « IAMD » A CÉLÉBRÉ SES 20 ANS À PORTO

ception augmente, les gouvernes aérodynamiques deviennent inefficaces et un système de propulsion spécifique est nécessaire. Les moteurs à propergol solide sont généralement (mais pas exclusivement) utilisés, car ils sont plus faciles à stocker et à manipuler. Divers concepts de tels systèmes ont été présentés.

ARMES À ÉNERGIE DIRIGÉE

Pendant des décennies, les lasers ont été étudiés comme pouvant changer la donne, car, en théorie, ils constituent des armes à munitions illimitées et à faible coût se propageant à la vitesse de la lumière. Ils promettaient d'inverser l'équation des coûts en faveur du défenseur : les munitions des systèmes traditionnels de défense antimissile cinétique sont bien plus chères que leurs cibles. Mais la réalité est dure pour les lasers : leur portée et leur puissance sur la cible dépendent fortement des conditions météorologiques, l'effet sur la cible dépend fortement du matériau de la cible, ce qui peut entraîner d'énormes besoins en puissance et des obstacles techniques, et, lié au point précédent, il faut pouvoir illuminer la cible pendant un certain temps avant qu'elle ne soit neutralisée - pas de tir et oubli dans ce cas. Le potentiel de dommages collatéraux est également élevé avec les lasers de haute puissance, car le seuil d'aveuglement oculaire est faible et donc la portée dangereuse se situe bien au-delà de la cible.

Cependant, les progrès techniques ont permis de développer des systèmes ou des concepts opérationnellement pertinents : les lasers ont démontré leur utilité à courte portée en zone sèche contre des « cibles faciles » comme les drones et les roquettes. Des systèmes laser pour neutraliser les satellites d'observation de la Terre sont déployés.

La conférence a abordé les applications anti-drones et anti-missiles hypersoniques plus futuristes, ainsi que l'impact des turbulences atmosphériques sur les performances des lasers.

SENSEURS ET RÉSEAUX DE SENSEURS

Des capteurs permettent la détection, la discrimination et le suivi des missiles. En gros, plus la détection est précoce, mieux c'est, et plus il y a de capteurs dans différentes longueurs d'onde, meilleure est la discrimination. Bien entendu, il y a ici des considérations de coût à prendre en compte.

Différentes technologies et capteurs radar ainsi que leurs capacités ont été présentés par Thales, Hensoldt, Weibel, Elta, Naval Group, Aselsan, DRS Rada Technologies et Leonardo. Les principaux résultats des études du groupe consultatif industriel de l'OTAN (NIAG SG217 puis SG260) visant à multiplier l'efficacité des capteurs par un échange d'informations et une coordination à haut débit ont été présentés après une introduction par le sponsor OTAN/ACT. Les capteurs infrarouges spatiaux ont également été discutés par Airbus et OHB. De tels capteurs peuvent permettre une détection et un suivi précoces des missiles à haute énergie/haute vitesse. Très peu de pays disposent d'une telle capacité et, comme mentionné dans la description du contexte, il existe actuellement sous l'égide de TWISTER un projet européen appelé ODIN'S EYE, financé par le Fonds européen de défense pour évaluer la faisabilité d'un tel système.

L'utilisation de l'IA dans le traitement des capteurs est étudiée, notamment pour une application où elle est habituellement efficace : la classification. Mais comme nous l'avons vu précédemment, les signatures sont difficiles à obtenir alors qu'un vaste ensemble de données est disponible dans la plupart des applications civiles. Il y a donc des pièges à éviter, qui ont été pointés lors de cette séance technique.

COMMAND AND CONTROL

Les systèmes de commandement et de conduite des opérations (C2) sont le ciment qui fait fonctionner l'architecture. Le C2 fournit des services de planification, soutenus par des capacités de simulation, construit la situation opérationnelle et dirige l'exécution des opérations. Il assigne des tâches aux capteurs et aux systèmes d'armes et veille au respect des règles d'engagement. Il assure la communication entre toutes les entités. Il doit être résilient face aux attaques cinétiques et non cinétiques telles que les cyberattaques.

Le C2 doit gérer la complexité de l'IAMD et aider à la prise de décision en fournissant des données pertinentes au bon moment. C'est un domaine dans lequel l'IA pourrait être utilisée à l'avenir. L'interface humaine est essentielle pour atteindre les objectifs de performance.

Différentes notions et solutions relatives à l'engagement collaboratif et réseau-centré, à l'optimisation

DÉFENSE ANTI-MISSILE LA CONFÉRENCE « IAMD » A CÉLÉBRÉ SES 20 ANS À PORTO

des missions et à l'affectation dynamique des cibles ont été abordées.

C-RAM, C-UAV

Alors que les menaces *low-tech* se multiplient, des réponses peu coûteuses doivent être trouvées. Outre les armes à énergie dirigée présentées précédemment, d'autres solutions basées sur des technologies matures ont été présentées : détection radar, brouillage (UAV) et/ou interception par moyens cinétiques. Pour les drones en zone civile, d'autres technologies sont étudiées : là où un essaim de drones est très improbable, une capture peut être envisagée et une détection peut se faire par LIDAR sans impact sur l'environnement électromagnétique.

TESTS ET DÉMONSTRATIONS

Les tests sont la vérité du terrain, obligatoires pour mettre à jour les modèles de simulation, qualifier les systèmes, former les opérateurs et vérifier la capacité opérationnelle. Cette question a été abordée à différents niveaux lors de la conférence :

- au niveau des sous-systèmes, avec la proposition d'un banc d'essai de planeur hypersonique pour évaluer les capteurs, matériaux et algorithmes dans des conditions pertinentes ;
- Au niveau des systèmes d'armes, avec la présentation de l'installation de tir de missiles de l'OTAN en Grèce ;
- Au niveau de l'architecture en utilisant le banc d'essai intégré de l'OTAN, capable de relier le C2 de l'OTAN et les différentes contributions nationales.

Les démonstrations se font à plus grande échelle et sont utilisées pour évaluer l'interopérabilité, la coordination et pour envoyer des messages aux adversaires potentiels. La démonstration en mer Formidable Shield a été présentée, impliquant plus de 20 navires de 13 pays et avec de multiples tirs réels pour intercepter des missiles.

CONCLUSION

L'IAMD est actuellement un domaine très dynamique. Les missiles (ici au sens générique, incluant les drones) sont développés et acquis à l'échelle mondiale aux deux extrémités du spectre technologique, car ils offrent des avantages opérationnels élevés pour un faible risque de perte de vies humaines pour l'attaquant. Leur variété complique

le calcul du défenseur et engendre des coûts défensifs élevés. Les conflits des deux dernières décennies ont démontré l'utilité des missiles mais aussi l'efficacité des défenses aériennes et antimissiles, devenues indispensables pour préserver la capacité opérationnelle avant une contre-attaque.

L'IAMD est l'une des tâches les plus difficiles techniquement en matière de défense. Elle doit être soutenue par une main-d'œuvre hautement qualifiée dans l'industrie, dans les agences d'acquisition et dans les forces armées. La conférence internationale 3AF sur la défense aérienne et antimissile intégrée, jeune, dynamique et forte de ses 20 ans, offre un forum unique pour rassembler cette communauté, discuter des nombreux enjeux de l'IAMD et embarquer la future génération dans ce domaine. Avec plus de 110 présentations soumises, environ 250 participants venus de 17 pays et plus de 100 entreprises représentées, la 15^{ème} édition de la conférence a été un grand succès pour lequel la 3AF et son équipe de communication ont remercié les participants, les sponsors et les trois co-chairs. Ce document a fourni un résumé rapide des discussions tenues lors de la conférence, couvrant tous les domaines techniques de l'IAMD. Nous espérons que cela suscitera votre intérêt et vous encouragera à participer à la prochaine édition dans deux ans !

¹ - La possibilité pour les États membres de s'engager dans une coopération structurée permanente (PESCO) dans le domaine de la sécurité et de la défense a été introduite par l'article 42, paragraphe 6, du traité de Lisbonne sur l'Union européenne (TUE), qui prévoit que « ceux Les États membres dont les capacités militaires répondent à des critères plus élevés et qui ont pris des engagements plus contraignants les uns envers les autres dans ce domaine en vue des missions les plus exigeantes établiront une coopération structurée permanente dans le cadre de l'Union ». <https://www.pesco.europa.eu/about/n>

P. 17 - 2^{ème} colonne

² - <https://www.pesco.europa.eu/project/timelywarning-and-interception-with-space-based-theater-surveillance-twister/>

P. 17 - 2^{ème} colonne

UNE MISSION HABITÉE SUR MARS NE DOIT PAS ÊTRE LE PROCHAIN DÉFI DE L'HUMANITÉ

par **Marius Le Fèvre**, ancien directeur du CSG, ancien directeur de l'ESA/ESTEC, membre de l'Académie de l'Air et de l'Espace.

LE PRÉSENT ARTICLE FAIT SUITE AU POINT DE VUE QU'AVAIT EXPRIMÉ MARIUS LE FÈVRE DANS LA LETTRE 3AF N° 2-2023 (pp. 9 à 13) ET À LA RÉPONSE QUE LUI AVAIT APPORTÉE LA DIRECTION DE L'ASSOCIATION PLANÈTE MARS DANS LA LETTRE 3AF N° 3-2023 (pp. 8 à 11).

Je me réjouis d'avoir des réactions sur mon article « Une mission habitée sur Mars ne doit pas être le prochain défi de l'humanité ». Les commentaires présentés dans l'article « Mission habitée vers Mars, un défi à notre portée » par J.M. Salotti, R. Heidmann et P. Clermont, responsables de l'association Planète Mars, sont certes pertinents mais pas suffisamment convaincants pour me faire changer d'avis, une mission habitée vers Mars ne doit pas être le défi prioritaire que l'humanité doit relever.

En ce qui concerne les problèmes associés aux séjours de longue durée en apesanteur, je ne doute pas que des solutions soient trouvées pour en réduire leurs effets. De même, je suis convaincu que des solutions peuvent être mises en œuvre pour assurer une certaine protection contre les radiations. Il n'en demeure pas moins que les astronautes seront dans un état physique plus ou moins affaibli à leur arrivée sur Mars et qu'il y a lieu d'en tenir compte dans le déroulement du programme des opérations très chargé qui attend les astronautes.

Il est vrai que j'ai imaginé un scénario basé sur l'utilisation du gros lanceur SLS que la NASA a développé et qualifié après plusieurs années de retard sur le calendrier prévu initialement. Cet engin a parfaitement fonctionné lors de la première mission Artémis. Je ne vois pas la NASA s'engager actuellement dans le développement d'un nouveau lanceur lourd. Elle utilisera SLS dans les prochaines années ou, à défaut, le Starship d'Elon Musk. Il faut cependant reconnaître que si cet ingénieur génial, Elon Musk, a réussi à développer ce gros lanceur et à révolutionner un certain nombre de technologies spatiales, il a fait parfois des choix qui ne sont pas sans risques. Cela a été le cas pour le premier lancement de Starship qui a occasionné la destruction du pas de tir.

Les responsables de l'Association Planète Mars ont raison de mentionner les divergences qui existent

au sein même de la NASA sur les moyens à mettre en œuvre et les scénarios à retenir pour une mission de vols habités vers Mars. Cela confirme bien que le projet n'est pas mûr et qu'il reste encore bien du travail à faire.

Les responsables de l'association Planète Mars ont également raison de mentionner les difficultés que représente le développement d'un écosystème fermé basé sur les échanges biologiques, c'est-à-dire sans échange de matière avec le milieu extérieur. Dans un écosystème naturel la stabilité est assurée par un très grand nombre de constituants qui interagissent entre eux par des réactions permettant ainsi une auto régulation. Dans un écosystème artificiel fermé, il y a lieu de minimiser le nombre de transformations, de recyclages. Dans ces conditions, il n'est pas possible d'obtenir un recyclage total et parfait et l'objectif est alors de rechercher la meilleure efficacité possible. La mise en œuvre d'un tel système de recyclage nécessite donc de disposer d'un moyen de contrôle très élaboré, et ce, d'autant plus que le système est appelé à travailler dans un environnement particulier avec une faible gravité et un rayonnement cosmique important. La mise au point d'un tel système nécessite encore des efforts de recherche. Pour des missions spatiales de longue durée ou permanentes, il paraît nécessaire de pouvoir assurer la survie des astronautes au sein d'un système fermé. Des recherches sont entreprises par plusieurs laboratoires.

Il me semble que la NASA va, maintenant et pour de nombreuses années, concentrer l'essentiel de ses activités de vols habités sur les missions vers la Lune et ceci pour deux bonnes raisons. D'une part, ces missions représentent une nouvelle étape importante qui doit permettre d'engager des recherches dans de très nombreux domaines et que, d'autre part, le budget de la NASA n'augmentera pas de façon importante dans les années à venir. Cette

étape va donc lui permettre de mieux préparer les missions plus lointaines comme celles vers Mars et en particulier de développer un écosystème basé sur des échanges biologiques qui, connaissant la prudence des responsables de la NASA, permettront de qualifier un système pour une mission vers Mars.

Je remercie les responsables de l'association Planète Mars d'avoir mentionné dans leur document l'existence du laboratoire Mélissa que j'avais engagé, à l'époque où j'étais directeur de l'ESTEC, pour le traitement des déchets humains lors des vols de longue durée, en particulier pour les missions vers Mars. En fait j'avais pris cette décision convaincue que les coûts de ce développement étaient tout à fait acceptables et qu'une fois développé, ce type de laboratoire pouvait trouver sa place dans des applications non spatiales, comme celles concernant le monde de l'élevage, et ce pour un coût raisonnable. Ce développement devait représenter une solution écologique importante dans cette activité. C'était compter sans la crise la crise de la vache folle qui a stoppé la mise en œuvre de cette application. Mais Mélissa existe et a sa place dans les missions futures vers Mars.

Le projet d'article que j'avais adressé à Jean-Pierre Sanfourche comportait, en fait, deux volets. Seul le premier a été publié et ce, avec mon accord. Dans ce projet d'article complet, que je vous propose de trouver en pièce jointe, je reconnais qu'une mission habitée vers Mars ne présente pas de domaines techniques insurmontables. En revanche une telle expédition est à haut risque et, pour le gouvernement des États-Unis et la NASA, son déroulement ne peut être qu'un succès. C'est un projet qui nécessite encore bien des développements, qui devra être géré selon des méthodes nouvelles pour minimiser les causes d'incidents possibles et enfin des moyens financiers très importants. On n'en est pas encore là.

Il ne fait aucun doute que l'homme ira un jour sur Mars et ce sera, ce jour-là, un événement planétaire qui marquera l'histoire de l'Humanité. Mais, aujourd'hui, Le grand défi qui se pose à l'humanité, c'est la maîtrise de l'évolution du changement climatique de notre planète.

Avec un accroissement de la population, passé en un siècle de 2 à 8 milliards d'habitants, les activités humaines ont produit un effet de serre provoquant

un réchauffement climatique global. Celui-ci a entraîné la fonte des glaciers et du permafrost, des changements de la circulation des courants océaniques et atmosphériques...

Voici déjà une trentaine d'années, j'avais écrit un article : « les enjeux du spatial face aux grands défis de l'humanité » qui a été repris, quelque temps plus tard, dans le livre « Prologue pour les années 2000 » de Pierre Vellas, alors président de l'Académie de l'Air et de l'Espace. Ce livre regroupe les réflexions de nombreux académiciens sur les mutations profondes auxquelles il faudra faire face au cours du siècle à venir. Déjà, à cette époque, des scientifiques étaient arrivés à la conclusion, en effectuant de nombreuses simulations, que les hausses de température prévues devaient conduire à des cycles hydrographiques plus rigoureux avec des périodes de sécheresse intenses et une augmentation de l'intensité des précipitations conduisant à des inondations.

Les travaux menés par le groupe intergouvernemental GIEC de l'ONU, regroupant 200 experts, a alerté le monde entier sur les risques majeurs prévisibles. De multiples conférences, sommets et forums se sont tenus mais il est vrai que certains responsables, comme Donald Trump, l'ancien président des États-Unis, ou encore Jair Bolsonaro ancien président du Brésil, continuaient de contester cette réalité (Il faut noter que c'est également le président Trump qui a demandé à la NASA de viser une mission habitée sur Mars en 2033).

La situation est telle, aujourd'hui, que plusieurs experts laissent entendre que nous sommes aux portes de la sixième extinction de masse. Mais, à la différence des précédentes, ce sont les développements socio-économiques qui en sont la cause.

Les images de la Terre prises depuis l'espace font apparaître cette ligne d'horizon, très courbée, représentant les limites, à la fois minces et fragiles, de notre atmosphère et il me semble que ces photos ont favorisé une prise de conscience chez la plupart des populations sur la fragilité de notre environnement. Aujourd'hui, face aux catastrophes écologiques qui interviennent de plus en plus fréquemment partout dans le monde, le changement climatique avec ses effets néfastes est pris très au sérieux dans le monde entier. Il ne se passe pas une journée sans que l'on en parle dans la presse ou à la télé. Il devient évident

que toutes les autorités nationales et internationales sont tenues maintenant de réagir.

Il faut même s'attendre, d'après les services Météo américain et australien, à ce que les années 2023 et 2024 soient les plus chaudes jamais enregistrées sur Terre compte tenu des effets d'un super El Nino qui devrait se produire prochainement.

La lutte contre le réchauffement climatique de notre planète ne peut être envisagée qu'à l'échelle mondiale. Les conférences COP sont prévues pour finaliser des accords internationaux. Lors de la dernière qui s'est tenue en 2022, la COP 27, les scientifiques et les ONG ont insisté sur l'urgence d'une action climatique, urgence qui n'a pas encore été perçue par les négociateurs.

En effet, les négociations ont été difficiles car portant principalement sur des questions financières. Cela a été le cas pour celles concernant les « pertes et dommages », c'est à dire aux financements destinés à compenser les pays en développement pour les dommages causés au climat par les pays développés.

Cela a été le cas également pour l'élaboration d'un nouvel objectif collectif destiné au financement du climat afin de remplacer l'objectif annuel de 100 milliards de dollars.

Un premier accord sur la création d'un nouveau fonds pour le financement des pertes et dommages a été obtenu mais, en revanche, aucun engagement de toutes les parties à éliminer progressivement tous les combustibles fossiles n'a pu encore se faire.

Certes, des progrès ont été enregistrés dans cette lutte contre le réchauffement climatique mais l'essentiel reste à faire et demandera des efforts financiers colossaux. Il s'agit là du grand défi qui doit mobiliser toute l'humanité. Il y va de sa survie.

Face au changement climatique il est donc impératif d'arriver rapidement à un accord international. Les pays développés sont conduits, tôt ou tard, à faire des efforts financiers importants, des sacrifices qui, à mon avis, se feront au détriment des efforts nécessaires à faire pour une mission habitée vers Mars. ■

Sur Mars, *Perseverance* a croisé *Ingenuity* !

Le 13 avril 2023, l'hélicoptère *Ingenuity* a effectué son 50^{ème} vol sur Mars, au cours duquel il a parcouru 322,20 m et atteint un nouveau record d'altitude de 18 m.



Crédit photo : La photo de l'hélicoptère *Ingenuity* prise par le rover *Perseverance* sur Mars.

© NASA/JPL-Caltech/ASU/MSSS

LES PRÉPARATIFS DU PREMIER VOL D'ARIANE 6

par **Dominique Valentian**

INTRODUCTION

Le premier vol d'ARIANE 6 (configuration Ariane 6) avec deux propulseurs solides P120C) est précédé par la qualification des moyens sol à Kourou, les essais d'étage et les essais intégrés sur le pas de tir ELA 4. Voici très brièvement l'état d'avancement de ces différents essais.

LES MOYENS SOL À KOUROU

- L'inauguration de l'ELA 4 (Ensemble de Lancement N° 4) a eu lieu le 21 septembre 2021.
- La qualification de l'ELA 4 a été prononcée le 15 juin 2023.
- Cela a ouvert la voie aux essais combinés en ergols entre le lanceur ARIANE 6 et l'ELA 4.

LES ESSAIS COMBINÉS

Les essais combinés (Pas de tir ELA 4 et lanceur) en ergols sont très complexes et menés par étapes : d'abord la mise en œuvre des fluides « simples » - hélium, azote, air - puis mise en œuvre des ergols cryotechniques, l'hydrogène et l'oxygène liquides.

Ceux-ci ont été précédés par des essais combinés mécaniques et électriques.

- Un premier essai combiné ELA 4 / Lanceur avec fluides cryotechniques a eu lieu le 18 juillet. Il a permis de valider les phases de remplissage et vidange mais n'a pas pu être mené jusqu'à la mise à feu de 4 s de VULCAIN 1 en raison de contraintes horaires et de quantité d'ergol.

- Un deuxième essai, le 5 septembre a permis d'effectuer ce tir de quatre secondes.
- Un troisième essai de durée nominale (470 s) doit avoir lieu le 3 octobre.

La date du premier lancement d'ARIANE 6 sera fixée à l'issue de cet essai.

L'ESSAI DE L'ÉTAGE SUPÉRIEUR

L'essai complet et à durée nominale (680 s) de l'étage supérieur (ULPM) a eu lieu à Lampoldshausen le 1er septembre 2023. Afin de simuler une mission type de cet étage, l'essai a comporté un ré-allumage de l'étage (simulant par exemple l'injection en orbite géostationnaire directe avec une phase balistique entre deux tirs), avec à chaque fois la mise en œuvre de l'APU (*Auxiliary Power Unit*) qui permet en particulier de rétablir la pression des réservoirs après une phase balistique et d'assurer une poussée permettant le tassement des ergols. La durée totale de l'essai (y compris la simulation de la phase balistique) a atteint 30 minutes.

Un autre essai de l'étage supérieur en mode dégradé aura lieu d'ici quelques mois.

CONCLUSION

Les différents essais d'étages et du lanceur complet (essais intégrés) progressent correctement et sans surprise technique. Ils permettent d'envisager le premier vol en partant d'une base technique bien établie. ■



*Essai de mise à feu de
VULCAIN 2.1 à l'ELA 4.
Photo CNES / S MARTIN.*

INSPIRE-SAT 7 : DE L'OBJET PÉDAGOGIQUE AU SATELLITE D'OBSERVATION DE LA TERRE ET DU SOLEIL

par **Mustapha Metfah**, Responsable du programme au LATMOS
 LATMOS, CNRS / UVSQ / Université Paris-Saclay / Sorbonne Université

Inspire-Sat 7 (Meftah, Boust et al., 2022) est un nanosatellite français au standard CubeSat (Twiggs, 2000), un format de satellite défini en 1999 par l'Université d'État polytechnique de Californie et l'Université de Stanford (États-Unis). Ce satellite de type CubeSat 2U (11.5 × 11.5 × 22.7 cm) est un démonstrateur pédagogique, technologique et scientifique dédié à l'observation de la Terre et du Soleil. Il a été imaginé, conçu, réalisé et testé par le Laboratoire Atmosphères et Observations Spatiales (LATMOS) et l'Office National d'Études et de Recherches Aérospatiales (ONERA), en collaboration avec leurs partenaires académiques et industriels, et la communauté radioamateur francophone. Cette mission spatiale fait partie intégrante du programme international INSPIRE (*International Satellite Program in Research and Education*), une initiative qui réunit plusieurs universités telles que l'Université du Colorado, *Nanyang Technological University*, *National Central University*, et l'Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines, entre autres. Pesant à peine 3 kg, Inspire-Sat 7 (figure 1) a été mis en orbite le 15 avril 2023 depuis la base militaire américaine de Vandenberg en Californie, à bord du lanceur Falcon 9 de SpaceX – mission « sherpa » Transporter 7 (figure 2).

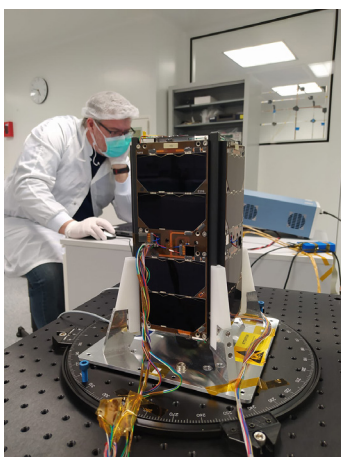


Figure 1. Essais de validation du satellite Inspire-Sat 7.

Le programme spatial Inspire-Sat 7 présente de nombreuses similitudes avec celui de FR-1, le tout premier satellite scientifique français qui avait été

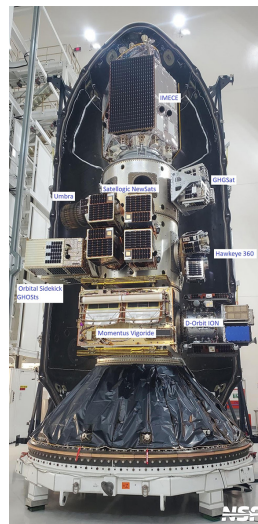


Figure 2. Mission Transporter 7 de covoiturage spatial avec à son bord 51 satellites commerciaux et gouvernementaux, dont Inspire-Sat 7.

Depuis avril 2023, Inspire-Sat 7 a rejoint Uvsq-Sat (Meftah, Damé et al., 2020), un autre satellite du LATMOS qui était déjà à une altitude d'environ 500 km (figure 3), créant ainsi l'une des premières constellations universitaires de CubeSats dédiée à l'observation de variables climatiques essentielles. En orbite héliosynchrone, ces deux satellites observent depuis l'espace le rayonnement solaire, le rayonnement solaire réfléchi au sommet de l'atmosphère de la Terre à longueurs d'onde courtes (UV, VIS, NIR), le rayonnement sortant à grandes longueurs d'onde (IR), tout comme le champ magnétique de la Terre. Quant à Inspire-Sat 7, il permet aussi de faire des mesures de perturbations de l'ionosphère à haute fréquence (HF) de 10 à 20 MHz.

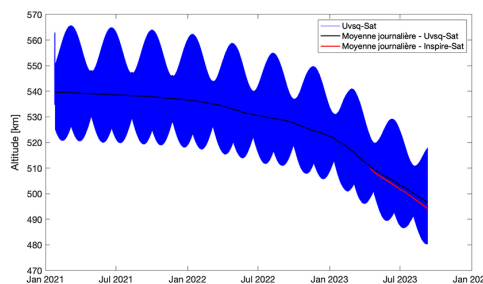


Figure 3. Altitude des satellites Uvsq-Sat et Inspire-Sat 7 depuis leur mise en orbite.

INSPIRE-SAT 7 : DE L'OBJET PÉDAGOGIQUE AU SATELLITE D'OBSERVATION DE LA TERRE ET DU SOLEIL

ORGANISATION DU PROGRAMME ET DATES IMPORTANTES

Le LATMOS assume à la fois le rôle de maître d'œuvre et de maître d'ouvrage du satellite, englobant la charge de concevoir, construire et administrer l'ensemble du programme spatial. Ce projet s'est construit autour d'une structure organisationnelle simplifiée, favorisant une approche Agile, tout en évitant le modèle de gestion verticale, qui s'avère souvent peu efficace pour conduire rapidement un programme spatial, depuis sa phase de définition et d'analyse (Phase 0/A) jusqu'à sa phase d'exploitation (Phase E). Le Principal Investigateur de la mission a encouragé la participation active de l'équipe scientifique tout au long du projet, mettant ainsi l'accent sur la flexibilité face aux éventuels changements et minimisant l'importance des procédures traditionnelles. L'organisation du programme Inspire-Sat 7 représente néanmoins un processus complexe qui nécessite encore aujourd'hui une planification minutieuse, une coordination précise et la prise en compte de nombreuses variables. Dès 2020, les objectifs scientifiques du programme ont été déterminés. Ensuite, plusieurs phases ont été entreprises pour développer les divers concepts de la mission spatiale, notamment le segment sol (comprenant le centre de contrôle, les stations UHF/VHF au sol et les systèmes de traitement des données) ainsi que le segment spatial (englobant la plateforme du satellite et les instruments scientifiques). Très rapidement, une évaluation de la faisabilité technique, financière et temporelle du projet a été faite. Mi-2020, les premiers financements ont été mis en place. La conception et l'ingénierie du programme a démarré très tôt en impliquant de nombreux partenaires issus de domaines très variés tels que le LATMOS, l'ONERA, le CNES, l'Institut royal d'Aéronomie Spatiale de Belgique (IASB), l'ESA, AMSAT-F, F6KRK, l'Electrolab, ACRI-ST, Adrelys, Hensoldt Space Consulting, Oledcomm, Nanovation, et l'Institut Lafayette, Mecano Id, Prodigima, entre autres. Chacun d'entre eux a apporté son expertise scientifique, technologique et pédagogique spécifique au projet. Mi-2021, le choix du lanceur a été entériné pour que le satellite prenne son envol dès 2023. Fin 2021, l'intégration et les essais d'environnement du satellite ont commencé. Les moyens de la Plateforme d'Intégration et de Tests (PIT) de l'Observatoire de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines (OVSQ) et du LATMOS ont été utilisés (salles blanches, pot vibrant, cuve de vide thermique, stations « sol »). Des essais

ont aussi été réalisés au CNES à Toulouse pour faire la caractérisation magnétique du satellite. L'étalonnage des instruments du satellite a été réalisé au LATMOS et en Belgique à l'IASB. Fin 2022, le satellite était prêt à être lancé – toutes les vérifications, les tests et les préparations nécessaires ont été effectués avec succès, confirmant que le satellite était en bon état de fonctionnement et pouvait être déployé dans l'espace en toute sécurité. La planification des opérations en orbite et les procédures de contrôle au sol du satellite étaient prêtes en janvier 2023. Le 7 février 2023, Inspire-Sat 7 a été intégré dans son dispositif d'éjection utilisé pour déployer des satellites en orbite. C'était l'ultime étape avant l'intégration dans la coiffe du lanceur. Un grand nombre d'étudiants de disciplines et d'horizons divers (ESTACA, SupOptique, IUT de Mantes-en-Yvelines, Master NewSpace) a participé à la mise en œuvre de ce programme, qui est notamment soutenu par Saint-Quentin-en-Yvelines (SQY) et le département des Yvelines (78).

DESCRIPTION DU SATELLITE

La plateforme du satellite Inspire-Sat 7 comprend divers systèmes essentiels tels que la structure physique, les panneaux solaires, l'alimentation électrique et les batteries, la communication avec ses antennes, le contrôle d'attitude, la télémétrie et les commandes, l'ordinateur embarqué, les instruments scientifiques, le contrôle thermique, ainsi que des dispositifs de protection contre les radiations. La charge utile du satellite est composée de plusieurs instruments scientifiques. Inspire-Sat 7 est équipé de capteurs miniaturisés (ERS) qui sont utilisés pour mesurer les composantes du bilan radiatif de la Terre (rayonnement solaire réfléchi, rayonnement sortant). L'objectif principal est de quantifier le déséquilibre énergétique de la Terre, qui est le principal moteur du réchauffement planétaire et est alimenté par l'augmentation des gaz à effet de serre. Inspire-Sat 7 est doté de photodiodes spécialement conçues pour observer le Soleil dans le continuum de Herzberg (200 – 242 nm), permettant ainsi de mesurer le rayonnement solaire dans l'UV. Cette technologie innovante a été développée par le LATMOS, l'entreprise Nanovation et leurs partenaires industriels. Inspire-Sat 7 est aussi équipé d'une antenne de réception HF et d'une carte SDR (CU-IONO1) développées par l'ONERA avec la collaboration du LATMOS. CU-IONO1 est un récepteur HF capable de capter les signaux émis depuis le sol par des équipements de l'ONERA,

notamment un sondeur vertical et un radar HF. Ces mesures contribueront à améliorer la modélisation ionosphérique et à quantifier plus précisément les perturbations ionosphériques qui ne sont pas encore bien comprises. Par la suite, ces perturbations pourront être mises en corrélation avec les observations effectuées par un réseau de magnétomètres et d'autres satellites en orbite. Dans un autre registre, Inspire-Sat 7 a embarqué le premier module LiFi à bord d'un CubeSat. Oledcomm et le LATMOS souhaitent démontrer que la communication sans fil basée sur la lumière est une alternative crédible aux harnais de cuivre traditionnels. Enfin, une charge utile radioamateur (SPINO) fait partie du satellite Inspire-Sat 7. C'est un dispositif destiné à tous les radioamateurs de la planète. Adrelys, l'Electrolab, AMSAT-F et le LATMOS ont décidé de concevoir une carte complète de télémétrie bidirectionnelle « libre » pour les CubeSats. Ce dispositif (SPINO) est associé au transpondeur audio déjà validé à bord d'UVSQ-SAT, et qui offre déjà une possibilité de communication entre radioamateurs.

LANCEMENT ET OPÉRATIONS EN ORBITE

Après plusieurs jours de retards liés aux conditions météorologiques, le satellite Inspire-Sat 7 a finalement été mis en orbite le 15 avril 2023 à 09h52 (heure de Paris). Le satellite a été déployé avec succès à une altitude de 508 km. Il a été placé sur l'orbite souhaitée par l'équipe scientifique du LATMOS (inclinaison de $97.71 \pm 0.5^\circ$, excentricité inférieure à 0.004, heure locale au nœud descendant de 10h00 $\pm 00h30$). Très rapidement, les équipes du LATMOS ont pris le contrôle du satellite. Le premier signal émis par Inspire-Sat 7 a été capté par les radioamateurs (Fredy Damkalis, PEOSAT). Depuis le 15 avril 2023, Inspire-Sat 7 a commencé sa mission d'observation de la Terre et du Soleil. Une équipe du LATMOS gère les opérations en orbite. Elle gère la mission en cours, surveille les systèmes, et collecte les données scientifiques. Elle réagit aux problèmes potentiels et effectue des ajustements en temps réel. La réception des données est faite par les stations « sol » du LATMOS (Hermès et Elsa), tout comme celles d'ACRI-ST et de la communauté radioamateur. L'analyse des données est réalisée par les équipes du LATMOS (la totalité des observations) et celles de l'ONERA (observations de l'ionosphère).

PREMIÈRES OBSERVATIONS ET RÉSULTATS

Depuis sa mise en orbite, Inspire-Sat 7 est opérationnel. Sa durée de vie fonctionnelle est d'au moins deux ans. Inspire-Sat 7 est un satellite passif, ce qui signifie qu'il ne peut pas ajuster activement son orientation ou sa position dans l'espace. En utilisant plusieurs capteurs à bord du satellite, l'équipe du LATMOS a développé des méthodes qui permettent de mesurer les vecteurs de référence dans l'espace, tels que les vecteurs Soleil-Terre et Magnétomètre-Terre. En utilisant conjointement la méthode TRIAD et le filtre de Kalman, des estimations précises de l'attitude du satellite sont obtenues, ce qui est essentiel pour restituer l'attitude du satellite dans l'espace. A partir de la connaissance de l'attitude du satellite et des mesures réalisées par les détecteurs ERS, le rayonnement solaire réfléchi par la Terre et le rayonnement sortant (IR) sont obtenus (figure 4).

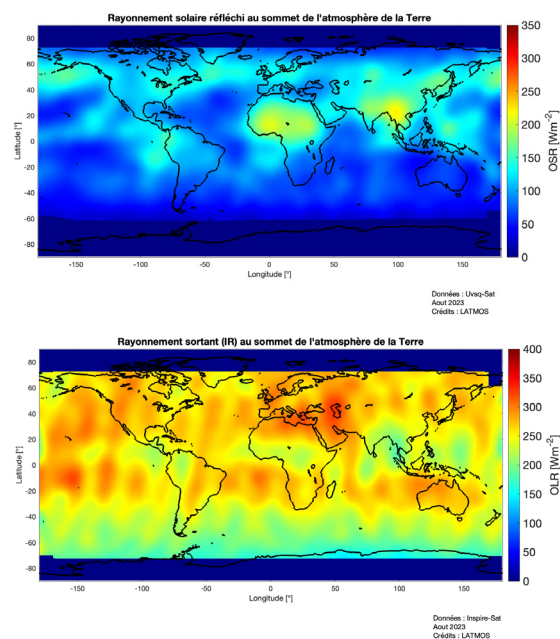


Figure 4. Observations réalisées par Inspire-Sat 7 en août 2023.

La carte du rayonnement solaire réfléchi au sommet de l'atmosphère au cours du mois d'août 2023 indique la présence des surfaces qui réfléchissent fortement le rayonnement solaire (neige, glace, sable, et déserts). Les régions qui sont généralement nuageuses ont tendance à réfléchir plus d'énergie, tandis que la surface terrestre réfléchit moins que les nuages, et l'océan réfléchit moins que la terre et les forêts. Les aérosols atmosphériques, tels que les particules de poussière, de suie ou de pollution, peuvent interagir avec le rayonnement solaire. Ils

INSPIRE-SAT 7 : DE L'OBJET PÉDAGOGIQUE AU SATELLITE D'OBSERVATION DE LA TERRE ET DU SOLEIL

peuvent agir comme des "points de condensation" pour l'eau, formant des nuages ou des gouttelettes d'eau. Étant donné que ces nuages sont très réfléchissants, ces cartes fournissent un excellent outil pour surveiller la couverture nuageuse mondiale, qui joue un rôle majeur dans le bilan radiatif de la Terre. Depuis plus de 20 ans, le rayonnement solaire réfléchi au sommet de l'atmosphère diminue (au moins 1 Wm^{-2}). C'est donc une des variables à suivre au cours du temps. Le rayonnement sortant (IR) au sommet de l'atmosphère représente aussi une variable à suivre au cours du temps. Il présente une dépendance en latitude (figure 4). Les hautes latitudes sont plus froides et émettent moins de rayonnement IR. Les régions tropicales humides sont clairement visibles. Dans les régions tropicales et équatoriales, le faible rayonnement émergeant au sommet de l'atmosphère est dû à la présence de nuages à haute altitude. Ces nuages absorbent le rayonnement émis par la surface de la Terre. Par conséquent, étant donné qu'ils sont froids, ils émettent un faible rayonnement sortant dans l'espace. Les données du rayonnement sortant centrées sur les zones équatoriales, de 160°E à 160°W de longitude peuvent être converties en un indice d'anomalie standardisé. Des valeurs négatives (positives) d'OLR indiquent une convection accrue (supprimée) et donc une couverture nuageuse plus abondante (moins abondante), typique des épisodes El Niño (La Niña). Une activité convective plus importante (moins importante) dans le Pacifique équatorial central et oriental implique des sommets nuageux plus élevés (plus bas), plus froids (plus chauds), qui émettent beaucoup moins (plus) de rayonnement infrarouge dans l'espace. Depuis Mai 2023, les valeurs d'anomalie du rayonnement sortant (IR) au sommet de l'atmosphère sont négatives (diminution) – indiquant le lien avec la venue du phénomène El Niño dans le Pacifique tropical pour la première fois depuis sept ans. Ce qui pourrait entraîner une augmentation des températures mondiales et perturber les conditions météorologiques et climatiques.

Depuis avril 2023, l'ensemble des instruments scientifiques du satellite a été testé. Les détecteurs UV fonctionnent. Le récepteur HF (CU-IONO1) est capable de capter les signaux émis depuis le sol. La charge utile radioamateur (SPINO) a été très souvent activée.

VERS UNE FUTURE CONSTELLATION DE NANOSATELLITES ?

Une large flotte de petits satellites en orbite basse (Gaïa Y78) permettrait d'observer tout changement intervenu sur Terre avec un niveau de détail sans précédent, tant en résolution spatiale que temporelle (Meftah, 2023). Plusieurs variables seraient alors simultanément observées par cette armada – comme le bilan radiatif de la Terre et l'éclairement solaire spectral. La surveillance du CO_2 et du CH_4 depuis l'espace est également très importante pour caractériser la répartition spatiotemporelle de ces principaux gaz à effet de serre et quantifier leurs sources et leurs puits, afin de mieux comprendre le réchauffement climatique.

Bien que nous ayons une compréhension solide du mécanisme de l'effet de serre et des contributions des divers gaz à effet de serre (GES) d'origine humaine au réchauffement de la Terre, certaines interactions et rétroactions impliquant les nuages, la glace polaire et les océans demeurent moins bien comprises. À mesure que les concentrations de GES augmentent, moins de rayonnement infrarouge parvient à s'échapper vers l'espace, ce qui entraîne une diminution du rayonnement infrarouge sortant (OLR), une accumulation d'énergie dans le système climatique et finalement un réchauffement de la surface terrestre. Les observations et les simulations de modèles révèlent que l'impact direct des GES sur le réchauffement est amplifié par des rétroactions climatiques, telles que la fonte de la glace arctique, qui expose davantage d'océan, renforçant ainsi l'absorption du rayonnement solaire. Il devient donc essentiel d'observer simultanément plusieurs variables climatiques essentielles afin de mieux caractériser le changement climatique.

- <http://uvsq-sat.projet.latmos.ipsl.fr>

- Meftah M., Boust F., et al., 2022. Inspire-Sat 7, a Second CubeSat to Measure the Earth's Energy Budget and to Probe the Ionosphere. *Remote Sensing*, 14 (1), pp.186. <10.3390/rs14010186> - insu-03506566.

- Twiggs R.J., 2000. Space system developments at Stanford University: From launch experience of microsatellites to the proposed future use of picosatellites. *SPIE 4136. Small Payloads in Space*, 4136, 79-86. doi: 10.1117/12.406646.

- Meftah M., Damé L., et al., 2020. UVSQ-SAT, a Pathfinder CubeSat Mission for Observing Essential Climate Variables. *Remote Sensing*, 12 (1), art. 92 (24 p.). <10.3390/rs12010092> - insu-02424399.

- Meftah M., 2023. *L'espace et le NewSpace au service du climat. Books On Demand – NewSpace Éditions*, 9782322119530 / 2322119539 - insu-04053151

LES PHÉNOMÈNES AÉROSPATIAUX NON IDENTIFIÉS (PAN) : LE PREMIER WEBSEMINAR SCIENTIFIQUE INTERNATIONAL ORGANISÉ PAR LA 3AF

Rédaction collective de la Commission technique SIGMA2



3AF/ SIGMA2 a organisé un Webinar 1 scientifique international sur les observables optiques des PAN en Juin 2023.

Conformément aux objectifs fixés en 2022, la Commission 3AF SIGMA2 a convié des experts internationaux pour partager leurs analyses sur les observables optiques des PAN dans un Webinar 1 international préparé avec l'aide de l'équipe 3AF et de SIGMA2 (Stéphane Pfister), enregistré (avec l'aide de Maybeplanet et de Pascal Fechner) au siège de 3AF, 6 rue Galillée, et sur le site Youtube de 3AF le 14 Juin 2023. Un article en anglais a été mis en ligne également par the debrief¹.

1 - <https://thedebrief.org/astronomers-scientists-and-experts-convene-in-paris-france-to-study-aerial-mysteries/>

Les PAN sont des phénomènes bien réels avec des observables remarquables dont les observations visibles et optiques, qui sont les plus naturelles, à l'œil nu d'abord ou avec des capteurs, ou simplement avec un smartphone. Ils sont observés par des pilotes, par des astronomes mais aussi simplement par des gens ordinaires confrontés à d'étranges phénomènes inconnus. Plus récemment, des capteurs infrarouges ont été utilisés pour collecter des images thermiques de PAN présumés, apportant plus d'informations mais restant insuffisantes dans certains cas pour dévoiler le mystère et l'identité de ce qu'ils sont.

Ce webinar 1 a été introduit par M. Alain Juillet haut Conseiller en sécurité et renseignement qui prête une attention particulière aux PAN, du point de vue scientifique mais aussi défense et sécurité.

Il a réuni des d'experts de 3AF et des scientifiques et universitaires internationaux² de premier plan, experts en optique et astronomie. Comme ils sont étranges ces observables optiques ! Sont-ils dus à la lumière du soleil qui brille sur les objets ou à un phénomène naturel comme un plasma atmosphérique flottant, semblable à la foudre en boule ? Est-ce dû au rayonnement thermique ou électromagnétique de ces objets dû à l'hypervitesse ou à un dispositif de propulsion exotique qui générerait du plasma autour de l'objet ? Pourquoi observons-nous une forme inhabituelle ou un changement de forme ?

Notre objectif commun fut de discuter de différents cas d'observation et d'essayer de saisir les principaux observables et caractéristiques optiques, qui les rendent visibles mais non identifiés, extraordinaires mais flous. Ensuite, nous avons discuté de la manière de collecter davantage de données physiques optiques sur les UAP.

Cet échange rejoint l'esprit d'autres projets scientifiques internationaux sur les UAP comme Galileo (Pr Avi Loeb). Le rapport d'étude indépendante de la NASA sur les UAP³ du 14 septembre 2023, souligne d'ailleurs l'importance d'impliquer les scientifiques, de l'application de méthodologie et de mesures multisenseurs après étalonnage, sujets abordés dans notre webinar sur lesquels nous reviendrons.

2 - <https://www.3af.fr/agenda/3af-sigma2-webinar-1-on-uap-optical-observables-2270>

3 - https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/uap_independent_study_team_-_final_report_0.pdf

RELATIONS INTERNATIONALES
LES PHÉNOMÈNES AÉROSPATIAUX NON IDENTIFIÉS (PAN) :
LE PREMIER WEBSEMINAR SCIENTIFIQUE INTERNATIONAL ORGANISÉ PAR LA 3AF



*De gauche à droite : Dr Andreas Muller (SUAPS, IFEX),
Dr. Filipe Nascimento Limina / SUAPS, Brain Sciences,
Dr Mike Cifone : Limina / SUAPS
Michael Vaillant : UAP-check.com/ SUAPS
Dr Jacques Vallee President : NOVALEM
ANALYTICS, LLC - Flamine de Bonvoisin.*



*De gauche à droite : Dr. Filipe Nascimento Limina /
SUAPS, Brain Sciences, Dr Mike Cifone : Limina/
SUAPS, Michael Vaillant : UAP-check.com/ SUAPS -
ingénieur general (2S), Pierre Bescond, Dr Jacques
Vallee President, NOVALEM ANALYTICS, LLC,
Luc Dini pdt 3AF-SIGMA2, Dr Beatriz Villarrouel
astronome (directeur Vasco Project - Nordic fellow -
Nordic Institute for theoretical Physics).*



*De gauche à droite : Dr Jacques Vallee,
Luc Dini, Dr Beatriz Villarrouel.*

COMMISSION TECHNIQUE COMPÉTENCES ET FORMATION TABLE RONDE

Par **Philippe Boulan**

Le 6 avril dernier, la commission Compétences et Formation de la 3AF a organisé une table ronde, avec la participation de l'IMT, sur le thème :

AÉRONAUTIQUE UNE ÉQUATION RH À 3 INCONNUES

Cet événement concrétisait un travail de réflexion que la commission menait depuis plusieurs mois, et qui avait été interrompu par la crise sanitaire.

En réunissant 6 experts RH de haut niveau, la commission 3af a voulu marquer toute l'importance qu'elle accorde aux questions de Ressources Humaines qui se posent aujourd'hui à l'industrie et en particulier à la filière aéronautique française.

Entre les présents « physiques » à la mairie du 15^{ème} arrondissement de Paris qui nous accueillait et les participants à distance ce sont près de 150 personnes qui ont écoutées nos experts débattre autour de 3 thèmes pendant une durée de plus de 3 heures qui s'est prolongée par un amical cocktail au cours duquel les échanges se sont poursuivis.

- **Le 1er débat portait sur la transformation numérique** Emmanuel BAUDOIN enseignant chercheur en Ressources Humaines à l'institut Mines Télécom Business School et Cyrille BICHON Directeur ingénierie et Digital Factory THALES ont développé les risques et les opportunités que représentaient pour les DRH et les ressources humaines la transformation numérique.

Hybridation du travail, importance des réseaux sociaux, impact du travail à distance sur le management notamment la nécessaire confiance à développer pour préserver la dynamique d'équipe ont été des points brillamment développés, tout en notant qu'il s'agissait d'un équilibre à trouver.

L'opportunité présentée par les moyens digitaux pour repenser et développer l'apprentissage collectif, le travail collaboratif et la formation ont été fortement mis en avant dans un constat

partagé par tous les intervenants, et illustré par les expériences THALES.

Enfin un risque fort de « surnumérisation » a été identifié générant une surcharge mentale de plus en plus fréquente dans les équipes.

- **Le 2^{ème} débat portait sur l'environnement : un malentendu à lever.**

Éric DALBIES, Senior Executive Vice President R&T Safran Group s'est chargé de rétablir un certain nombre de vérités concernant les actions de la filière Aéronautique dans le domaine de l'environnement « afin de lever les malentendus » vis-à-vis de nos jeunes qui hésitent à nous rejoindre, confrontés à un « bashing » intense et injustifié.

Éric a développé avec pédagogie et argumentations chiffrées, les travaux de la filière pour atteindre les objectifs de décarbonation aéronautique de l'accord de Paris sur le climat, filière la plus avancée dans ce domaine, soit 0 émission nette en 2050, en agissant sur les progrès techniques, la gestion du trafic, les carburants, les compensations.

Éric a ainsi encouragé nos ingénieurs et techniciens à nous rejoindre pour contribuer aux actions environnementales dans le cadre d'un investissement de plus de 4 milliards d'euros mis en œuvre dans les années à venir chez Safran avec un « cap clair ».

Il a rappelé le rôle important de la fonction RH pour acquérir les nombreuses compétences additionnelles dont la filière aura besoin pour mener à bien cet agenda stratégique priorité n°1 de la filière.

Terminons par une citation d'une de nos ingénieures « Je sais qu'en travaillant chez Safran j'ai un impact réel sur le futur et l'environnement ! ».

- **Le 3^{ème} débat portait sur le recrutement et la fidélisation.**

Il réunissait Benoit SERRE, DRH l'OREAL France et

Frédéric HENRION, Directeur Global Learning & Safran University qui ont traité la question très sensible du recrutement et de la fidélisation de nos collaborateurs face à la tendance « Zapping » des générations Y et Z.

Benoit et Frédéric identifiaient avec clarté certaines causes principales des difficultés actuelles de recrutement.

La dynamique démographique avec une hausse importante des départs de la vie active supérieurs aux arrivées dans le monde du travail, des liens entre le monde éducatif et les entreprises très insuffisants, des transformations importantes dans les attentes des salariés qui aspirent à un cadre de travail plus libre, une image de l'industrie toujours trop négative.

Les entreprises et les DRH y travaillent par exemple : De nouvelles formules de formation job on training, E learning, fortement développé en interne chez Safran University, l'amélioration des conditions de travail, l'intelligence artificielle comme outil d'évaluation des compétences.

Nos 2 intervenants se rejoignirent enfin sur le constat que pour les nouvelles générations, le travail n'est plus aujourd'hui la source unique de l'épanouissement personnel et qu'il faut en tenir compte dans le management de ces populations. « Si l'on note un peu moins de résilience, il y a toujours autant de engagement ! »

Florence Dufrasnes VP Airbus se livra au difficile exercice de synthèse de ces débats :

- En insistant sur le risque de « déshumanisation » du tout numérique dans la gestion des Ressources Humaines, le RH devant rester celui qui gère des femmes et des hommes avec de la présence et de l'empathie ;
- En notant que l'utilisation du digital en permanence à trop forte dose générerait une surcharge mentale réelle qu'il faut éviter en sachant gérer un équilibre dans l'utilisation des moyens ;
- En identifiant le risque d'entreprises à 2 vitesses ceux qui ont accès au télétravail et les autres ;
- Que les femmes sont encore trop peu nombreuses dans notre filière aéronautique.

Par ailleurs :

- Elle constate que les nouvelles formes d'organisation du travail remettent en cause les profils de managers « command and control » ce qui est une bonne chose ;
- Que le digital révolutionne la formation ;
- Que l'aéronautique en faisant de l'environnement sa priorité n°1 est un acteur majeur de ce dossier.

Florence termina par une déclaration enthousiaste à l'intention des étudiants. « *Notre secteur aéronautique recrute beaucoup et dans des métiers qui font du sens. Vous devez nous rejoindre !* »

Remercions pour terminer Martine ASSAR-LEINENWEBER responsable de l'Observatoire des métiers Institut Mines Télécom pour son efficace et dynamique préparation et animation de cette table ronde.

Retrouvez cette table ronde sur Youtube :

<https://youtu.be/kxigbqgUfdm> ■

GUSTAVE EIFFEL, UNE SECONDE CARRIÈRE DANS LA MÉTÉOROLOGIE, L'AÉRODYNAMIQUE ET LES SOUFFLERIES

par **Bruno Chanetz**, membre du HCS 3AF et de la Commission Technique Aérodynamique et **Martin Peter**, conservateur de la soufflerie Eiffel

Gustave Eiffel est mort en 1923, au terme d'une vie bien remplie. Compte tenu de sa notoriété universelle conférée par ses ouvrages d'art, l'UNESCO a tenu à commémorer officiellement les 100 ans de sa mort. En hommage à ce grand ingénieur, Alumni-ONERA organise les 7 et 8 décembre 2023, à l'École des Beaux-Arts de Paris en partenariat avec l'École nationale supérieure d'architecture de Paris-Malaquais (ENSAPM), un colloque de deux jours (entrée gratuite) au cours duquel toutes les facettes de l'œuvre de Gustave Eiffel seront évoquées : l'ingénieur métallique, mais aussi le météorologue discret et l'aérodynamicien quelque peu oublié en France, pourtant auteur d'une évolution considérable dans l'art des souffleries avec l'invention du diffuseur. Ce sont ses derniers aspects météorologie et aérodynamique que cet article se propose d'évoquer.



EIFFEL, MÉTÉOROLOGUE

Ses motivations

Avant tout, il n'est pas vain de s'interroger sur les raisons qui ont amené Gustave Eiffel, le magicien du fer, à s'intéresser à la science de la météorologie jusqu'à en devenir un éminent spécialiste ! C'est sans doute en premier lieu parce que le vent a toujours été pour lui une préoccupation majeure par ses effets sur les constructions métalliques de grande dimension qu'il réalisait : « *Le vent, mon ennemi* », disait-il.

Il venait d'autre part de quitter la direction de sa société de constructions métalliques de Levallois à la suite de ses déboires lors de la construction du Canal de Panama. Sa soif de connaissances l'incitait à s'intéresser à cette science encore balbutiante. Il avait 60 ans. Enfin il estimait que la Tour qui porte son nom, et qui était l'objet de certaines critiques à l'époque, pouvait servir de support pour le développement de nouvelles sciences et techniques, telle que la météorologie. C'est ainsi que pendant 20 ans, Eiffel va se consacrer avec la rigueur et l'opiniâtreté qu'on lui connaît à l'étude du vent et des phénomènes météorologiques tout en menant de front des activités dans l'aérodynamique.

Eiffel exprime à travers ses discours sa volonté de mettre la science au service de la technique. La météorologie doit aider l'aviateur, le paysan ou le marin. C'est pour les hommes que Gustave travaille.

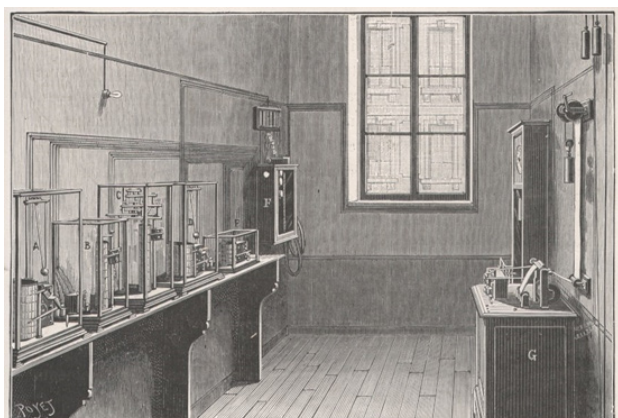
Il préconise ainsi de simplifier les pratiques pour que les résultats soient accessibles à tous. Ainsi la météorologie doit donner des informations exploitables immédiatement.

Construction de 5 stations météorologiques à Paris, Sèvres, Beaulieu-sur-Mer, Vacquey et Ploumanach

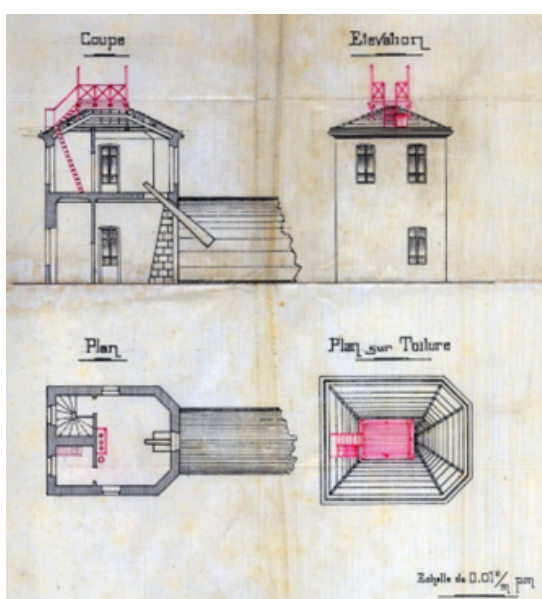
Cinq stations météo vont être construites, l'une sur la Tour et quatre autres dans des propriétés familiales.

Dès 1889, année de l'inauguration de la Tour, Gustave Eiffel, aidé par son ami Emile Mascart, directeur du Bureau Central de la Météorologie, fait installer à son sommet à 334 mètres d'altitude, un observatoire météorologique. La plate-forme ne mesurait pas plus de 1,60 mètre de diamètre. Cette installation permettait de recueillir des informations sur la température, la pression atmosphérique, la pluviosité, la vitesse et la direction du vent. Ces informations étaient transmises électriquement par un câble qui courait le long de la structure de la Tour puis, passant par les égouts de la ville, allait jusqu'au Bureau Central de la météorologie situé dans un immeuble voisin...

C'est dans son château des Bruyères à Sèvres qu'Eiffel installa en 1891 un second observatoire pilote qui va lui permettre d'étalonner ses équipements de mesure.



Salle des enregistrements à la tour Eiffel.



Plan de l'observatoire de Sèvres.

Puis vint l'installation de trois autres stations d'observation :

- en 1901 à Beaulieu-sur-Mer, où Eiffel possédait une propriété ;
- en 1902 près de Bordeaux sur le domaine de Vacquey, appartenant à son fils Edouard ;
- en 1905, en Bretagne dans le hameau de Ploumanach, où vivait son fils Albert. Cette station était installée dans la maison-même au nom prédestiné « Ker Awell », la maison du vent.

Ce petit réseau, construit sur les terres familiales, va lui permettre de faire progresser cette science encore balbutiante, qu'est la prévision du temps.

Dès 1901, Eiffel publia un ouvrage ayant pour titre « Dix années d'observations météorologiques à Sèvres ».



Eiffel et un collaborateur aux Bruyères

Pour 1902 et les trois années suivantes, il fit éditer une « Etude comparée des stations météorologiques de Beaulieu, Sèvres et Vacquey ».

Il va également publier l'étude comparée des paramètres météorologiques recueillis dans ses stations sous forme de courbes et de graphiques, ce qui va le conduire à étendre cette étude comparative aux 24 stations du Bureau Central réparties sur le territoire français. Les relevés météo étaient consignés dans des atlas qu'Eiffel publiera pendant 7 ans. Il va en interrompre ensuite la publication car elle s'est révélée trop lourde à gérer. Ces atlas, très appréciés des météorologistes entreront en 1914 dans les archives du Ministère de l'Agriculture, conscient de l'intérêt de ces précieuses informations.

Eiffel, président de la Société Météorologique de France

Eiffel tira la conclusion de ses expériences : l'importance de la variation des phénomènes traduite en courbes et graphiques et non pas les seules mesures ponctuelles. C'est ce constat qu'il a appliqué à la prévision du temps, laquelle est le fondement même de la science météorologique.

Les progrès qu' Eiffel avait permis de réaliser en météorologie furent reconnus par ses pairs au point qu'en 1910, il est nommé Président de la Société Météorologique de France.

CULTURE GUSTAVE EIFFEL

Pour illustrer la pensée de Gustave Eiffel, voici ce qu'il écrivait en 1905 : « *Je n'ai qu'un but, c'est de permettre à toutes les bonnes volontés de se produire dans le domaine de la météorologie. La notation patiente des phénomènes météorologiques, l'étude toujours plus attentive de leurs relations et de leurs causes nous permettront sans doute de nous rapprocher de plus en plus du but auquel doivent tendre tous nos efforts : la connaissance du temps qu'il fera.* »

EIFFEL, AÉRODYNAMICIEN

Ses motivations et l'appareil de chute à la tour Eiffel

Au début du XX^e siècle, la tour a de nombreux détracteurs, principalement des artistes, à qui Gustave Eiffel veut prouver qu'elle peut avoir une utilité scientifique. A long terme, il sait aussi que c'est le seul moyen d'éviter sa démolition à l'expiration de la concession. Elle représente un formidable support pour effectuer des expériences en aérodynamique. Aussi Eiffel décide de s'en servir dans l'étude de cette science naissante, qu'est l'aérodynamique. Il conçoit un appareil de chute très ingénieux, qu'il installe au 2^e étage, mettant à profit les 115 mètres de hauteur de la plateforme, pour étudier la résistance des corps. Ses premières recherches, saluées par l'Académie des Sciences en 1908, lui permettent de jeter les bases des lois fondamentales de la résistance de l'air.



Appareil de chute conservé à la soufflerie Eiffel
rue Boileau à Auteuil.

La première soufflerie, au Champ-de-Mars (1909-1911)

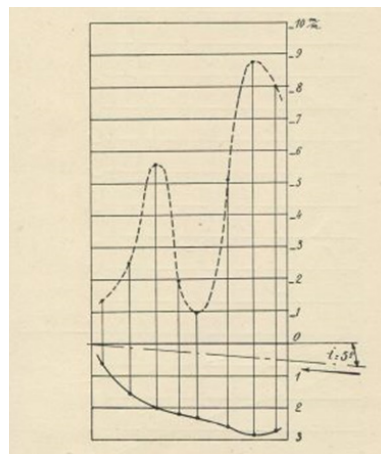
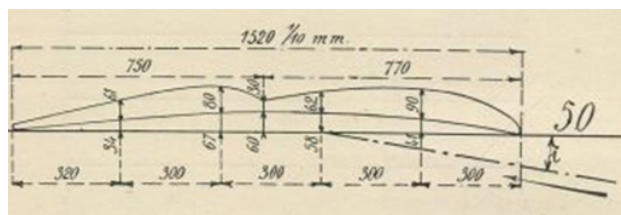
Pour poursuivre ses recherches sur la résistance des corps, Eiffel construit le « Laboratoire du Champ de Mars » qui sera opérationnel de 1909 à 1911. Cette soufflerie est destinée à l'étude de l'aérodynamique, le principe de l'installation résidant dans la mise en mouvement d'air autour de maquettes d'aéronefs, afin de mesurer les forces qui s'y exercent.

À cette époque, l'aviation est à ses débuts. Les

pionniers de l'air payent un lourd tribut à cette technique naissante. De nombreux vols se terminent par des écrasements au sol et la mort des pilotes. Eiffel entend préserver la vie des pilotes par des recherches en soufflerie, en substituant au « flair du constructeur, l'art de l'ingénieur ».

Répartition de la portance entre intrados et extrados

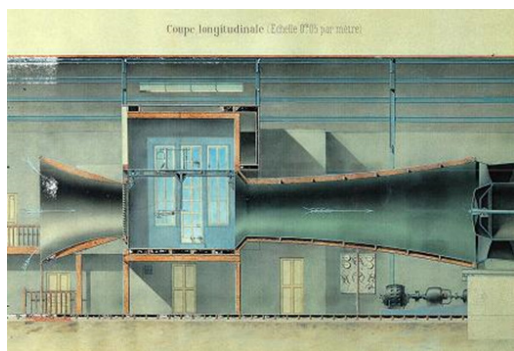
Parmi les tests réalisés, ceux sur les profils d'ailes ont eu des conséquences capitales sur la connaissance de la force de portance. En effet jusqu'aux travaux de Gustave Eiffel, les inventeurs ne se doutaient pas que l'aile était plus aspirée par l'air au-dessus (extrados) que portée par l'air au-dessous (intrados). En mesurant la répartition des coefficients de pression sur les parties intrados et extrados de l'aile « *Cette étude a fait ressortir l'importance prépondérante des dépressions à l'arrière et a montré que l'aile de l'aéroplane est deux fois plus aspirée par l'air qui s'écoule sur sa face dorsale, qu'elle n'est poussée par l'air qui s'écoule sur sa face ventrale. Avant que ce fait ne fût mis en évidence au Laboratoire du Champ de Mars, les constructeurs d'avions ne tenaient pas compte des dépressions sur la face dorsale pour l'attache des toiles des ailes, et cela a dû amener des catastrophes par déchirure inexplicables de cette toile pendant le vol. On y a remédié depuis la publication de mes travaux.* »



Aile n°50 à deux bosses tracé des coefficients de pression associés pour une incidence de 5°.

La seconde soufflerie, à Auteuil (à partir de 1912)

Gustave Eiffel est à l'origine d'une évolution dans l'art des souffleries. Il intercale une pièce divergente – le diffuseur – entre la veine d'essai et le ventilateur situé en aval. C'est une innovation majeure, puisqu'elle permet de diminuer drastiquement la puissance nécessaire à l'installation. L'efficacité de ce dispositif découle de la loi de Bernoulli, qui stipule que pression et vitesse varient en sens inverse. De fait le diffuseur, en diminuant la vitesse, a pour effet de comprimer l'air. La différence de pression de part et d'autre du ventilateur est alors très inférieure à celle qui règne lorsque le ventilateur est situé directement en aval de la section d'essai. Eiffel résume ainsi la situation : « *Le diffuseur économise donc en somme les deux tiers de la puissance. L'avantage de ce système de récupération est manifeste* ».



Dessin aquarellé de la soufflerie d'Auteuil de g. à d. convergent, chambre d'essai, diffuseur et ventilateur pour aspiration de l'air.

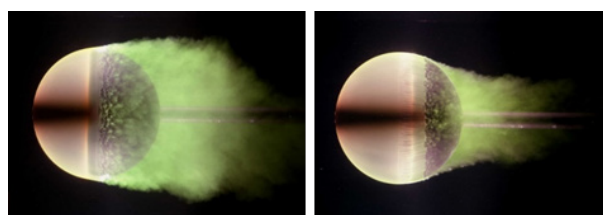
La soufflerie achevée en 1912 à Auteuil, bénéficie de l'invention du diffuseur. Elle provient du transfert de la première soufflerie de Gustave Eiffel, installée au Champ-de-Mars aux pieds de la Tour Eiffel en 1909. La soufflerie du Champ-de-Mars atteignait une vitesse de 18 m/s dans une section d'essai circulaire de 1,5 m de diamètre. Elle était mue par un ventilateur actionné par un moteur de puissance 50 chevaux. Avec ce même moteur transféré du Champ-de-Mars à Auteuil, la nouvelle soufflerie, dotée d'un diffuseur, atteint 32 m/s dans une section de 2 mètres de diamètre, soit un gain en débit de 200 %.

La traînée des sphères

Au laboratoire d'Auteuil, Eiffel reprend ses activités là où il les avait laissées au Champ-de Mars. Il s'intéresse à l'aérodynamique des corps dont la résistance à l'air paraissait suivre des lois particu-

lières en fonction de la vitesse, en premier lieu la sphère. Les mesures effectuées jusqu'à présent au Champ-de-Mars, à des vitesses de 15 m/s laissent apparaître des valeurs du coefficient de résistance inférieures de moitié à celles trouvées pour des vitesses plus faibles par le professeur August Föppl du laboratoire de Göttingen, dirigé par le célèbre Ludwig Prandtl. Föppl n'hésita pas à écrire que le Français avait dû commettre une erreur de calcul !

En reprenant à Auteuil les essais avec des sphères de différents diamètres, Eiffel découvre que pour chaque sphère, il y a deux régimes d'écoulement de l'air : l'un aux basses vitesses correspondant au coefficient trouvé à Göttingen (régime laminaire au décollement de la couche limite) et l'autre, aux plus fortes vitesses, correspondant au coefficient trouvé au Champ de Mars (régime turbulent au décollement), le changement de régime se faisant toujours pour la même valeur du produit vitesse x diamètre. Ainsi, l'étude expérimentale des sphères réalisée au laboratoire d'Auteuil fut la première qui mit en évidence le rôle important du « nombre de Reynolds » en aérodynamique.



Visualisations (crédit ONERA) au tunnel hydrodynamique de l'écoulement autour d'une sphère en régimes laminaire au décollement (à gauche) et turbulent au décollement (à droite).

La soufflerie d'Auteuil aujourd'hui

Plus de 110 ans après sa mise en service en 1912, le laboratoire aérodynamique de Gustave Eiffel à Auteuil est encore opérationnel. En 1921 deux ans avant sa mort, Gustave Eiffel confia sa soufflerie aux Services Techniques de l'Aéronautique (STAé), puis en 1929 le GIFAS en reprit la gestion. En 1983, la société « Aérodynamique Eiffel » fut créée par Martin Peter lorsqu'il rachète la soufflerie qu'il dirigeait. Revendu en 2001 au Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB), ce laboratoire continue à apporter à l'industrie une contribution scientifique déterminante sur l'aérodynamique des véhicules, en aéraulique industrielle et en ingénierie du bâtiment. Depuis 2001, Martin Peter est le conservateur de la soufflerie. ■

L'ASSEMBLÉE GÉNÉRALE DU 6 JUILLET 2023

par **Michel Assouline**, Directeur Général de la 3AF



Notre Assemblée Générale Ordinaire s'est tenue le 6 juillet 2023 dans la prestigieuse Grande Salle des Fêtes de la mairie du XV^{ème} arrondissement de Paris, et il convient de remercier à nouveau chaleureusement le maire, Monsieur Philippe Goujon, ainsi que son adjoint Franck Lefevre qui nous faisaient l'amitié de nous accueillir.

La séance était précédée d'une conférence magistrale de Jean-Claude Trichet, ancien président de la Banque centrale européenne. Jean-Claude Trichet a abordé la question de l'inflation actuelle, exposant avec clarté les causes et les mesures nécessaires pour maintenir la stabilité des prix de part et d'autre de l'Atlantique. Cette présentation a captivé notre auditoire et a été introduite par notre président d'honneur, Michel Scheller, nous l'en remercions grandement.

Après cette conférence inspirante, le Président Louis Le Portz a officiellement ouvert l'Assemblée Générale Ordinaire, le Bureau de cette Assemblée étant composé comme suit : Président : Louis Le Portz, Secrétaire : Jean-François Coutris, Trésorier : Bertrand Petot, Assesseurs : Hervé Austruy et Pierre Bescond.

La participation de nos membres était analogue à celle de l'année passée : 107 de nos membres avaient exprimé leur vote en ligne avant l'Assemblée, 65 membres, disposant d'un droit de vote étaient présents ou représentés par un pouvoir en séance, ce qui a porté le nombre total de votants à 172.

Le Secrétaire Général de 3AF, Jean-François Coutris a présenté le rapport moral pour l'année 2022. Cette présentation était suivie des interventions de notre Trésorier, Bertrand Petot, d'Alain Marcheteau, de Michel Assouline, ainsi que du Commissaire aux Comptes représenté par Michel Aabokan, associé du Cabinet BACIS. L'ensemble de ces interventions a permis de fournir une perspective complète sur les activités de l'association au cours de l'année écoulée, ainsi que sur les orientations futures. Toutes les 9 résolutions proposées ont été adoptées avec une très nette majorité des voix, témoignant ainsi de l'engagement et du consensus des membres sur les orientations futures de notre Association.

Les résolutions marquantes de cette Assemblée Générale Ordinaire 2023 sont, outre l'adoption des rapports moral et financier, l'accord de l'Assemblée pour la création d'une structure dédiée aux

colloques, l'adoption d'une mise à jour du règlement intérieur des Groupes Régionaux et l'approbation de la cooptation d'un nouveau membre au Conseil d'Administration, Mme Jacqueline Cohen-bacrie. Le Procès-Verbal détaillé de l'Assemblée est consultable depuis le site de l'Association.

Pour finir, nous avons eu l'honneur de clôturer l'événement par la remise des Grades 3AF 2023, Cérémonie présidée par Hervé Austruy, Président du Comité des Prix et des Grades de 3AF. Les Grades honorent les membres qui se sont distingués par leur excellence et leur dévouement dans le domaine de l'aéronautique et de l'espace, ainsi que pour leur implication envers l'association. Au total, 15 Grades seniors et 3 Grades Émérites ont été décernés. Adressons encore une fois toutes nos félicitations à cette nouvelle promotion !

L'Assemblée et la remise des Grades 2023 étaient enregistrées et pour ceux qui n'ont pu se rendre disponibles des vidéos complètes sont disponibles sur notre site internet - www.3af.fr. ■

Annonce du décès d'Alain Ragot

La Commission Stratégie et Affaires Internationales a l'immense regret d'annoncer le décès d'Alain Ragot, membre éminent depuis de nombreuses années, mercredi 26 juillet 2023 dans sa 78^{ème} année.

Alain Ragot a dédié la totalité de sa carrière professionnelle à l'espace, d'abord au sein du CNES puis en tant que consultant en sûreté de fonctionnement, président de l'Association des retraités du CNES section Parisienne et membre actif de 3AF/CSAI.

Dès 1981, Alain déploie ses compétences au service Qualité & Fiabilité des installations sol de la filière des lanceurs Ariane 3 et 4. À partir de 1988, Alain participe aux développements des moyens sol et aux moyens industriels de production du nouveau lanceur Ariane 5. Alain sera ensuite impliqué sur les premiers lancements à la fin de la décennie 1990 puis sur les adaptations des installations aux améliorations d'Ariane 5 jusqu'à son départ à la retraite en 2009.

Les membres de la CSAI s'associent à la douleur de sa famille et regretteront sa fidélité, sa bienveillance et ses contributions toujours pertinentes aux travaux de la commission.

GROUPE RÉGIONAL HAUTS-DE-FRANCE

par **Éric Deletombe**, Président du Groupe Régional Hauts-de-France

LE PAYSAGE

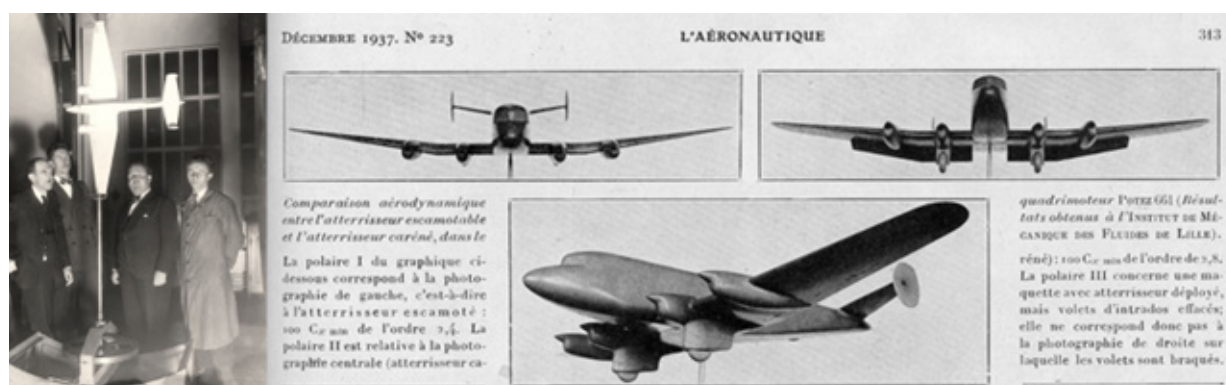
Ayant intégré l'ONERA en 1990, et son établissement lillois, comme Ingénieur de Recherche dans sa Division de Mécanique des Structures, mon parcours professionnel m'avait amené - bien avant que je ne rejoigne la 3AF - à tisser de nombreux liens avec les acteurs industriels, académiques et institutionnels régionaux (Nord/Pas-de-Calais) du domaine (multi-sectoriel) des transports. En effet, dotée d'une culture historique industrielle forte (1ère révolution industrielle, minière et textile), forcée à une première reconversion à prédominance manufacturière, métallurgique, majoritairement orientée vers la mécanique et les transports (industries ferroviaires et automobiles), la région - tirant les leçons du passé - avait dès les années 80 compris l'importance de favoriser l'innovation industrielle (performance et produits), et avait misé pour cela sur l'exploitation des synergies potentielles entre acteurs sectoriels en créant le Groupe Régional de Recherche sur les Transports (GRRT), et en y invitant l'ONERA (quand bien même le secteur aéronautique régional avait fortement décliné après la seconde guerre mondiale).

Adhérent 3AF depuis 2010, et membre de la Commission Structures depuis la même année, je m'étais modestement investi, dans le cadre professionnel, sur son ambitieux projet associatif, et cela faisait plusieurs années que l'idée de créer un Groupe Régional me trottait dans la tête (n'y avait-il pas eu, «jadis», un groupe 3AF « Nord » !?!). **Le déclin** ne vint cependant qu'après la réforme territoriale de 2014, et la création de la Région Hauts-de-France (qui peut se prévaloir d'une longue liste de pionniers

de l'aéronautique : Charles Nungesser, Louis Blériot, Louis Breguet, Henri Potez, pour ne citer qu'eux ...).

(voir l'illustration)

La région nouvellement créée regroupait dorénavant 5 départements : l'Aisne, le Nord, le Pas-de-Calais, l'Oise et la Somme, ces deux derniers départements - picards - ayant conservé une forte activité manufacturière pour le secteur aéronautique). Quelques chiffres clés pour brosser un rapide portrait des Hauts-de-France : 6 millions d'habitants, plus de 200 000 étudiants en enseignement supérieur (6 universités, plus de 30 écoles d'ingénieurs ...), 1ère région pour l'industrie ferroviaire nationale (10 000 emplois), 2nde pour l'industrie automobile (56 000 emplois), et 7ème pour l'industrie aérospatiale (entre 7000 et 10000 emplois, 160 entreprises, selon la règle de calcul). L'opportunité que je saisis pour le faire fut ma prise de fonction de Directeur du Rayonnement de l'ONERA pour la Région Hauts-de-France en 2017, position qui - associée à mon appartenance au Département Matériaux et Structures - en augmentait la légitimité : la création du Groupe Régional "Hauts de France" fut finalement actée par le conseil d'administration 3AF du 7 décembre 2017, et le groupe porté sur les fonts baptismaux lors de l'assemblée générale du 18 juin 2018. Il ne restait plus qu'à mettre tout cela en musique. C'était il y a 5 ans, et je remercie la Lettre 3AF de me permettre aujourd'hui de faire dans ce numéro un premier point d'avancement sur l'avancement de notre partition.



Maquette d'avion Potez 63 - Extrait de la revue nationale « L'Aéronautique » n°223 - Déc. 1937

RELATIONS AVEC LES AUTRES ASSOCIATIONS

Le vide créé par l'absence prolongée de 3AF en région amena naturellement les passionnés de la région à créer leurs propres structures, et de nombreuses associations « aéronautiques » animaient le territoire en 2018 lorsque le GR 3AF Hauts-de-France fut officialisé, chacune ayant sa spécificité (celle de 3AF étant son statut de société savante). Comme très souvent dans le milieu associatif, les forces vives de ces associations sont majoritairement constituées des retraités du secteur les plus engagés : difficile, en plus d'être indélicat, d'espérer les « débaucher ». Le Groupe Régional 3AF Hauts-de-France se devait donc - et se devra encore à l'avenir - de travailler de concert, et en bonne intelligence, avec elles. Sans pouvoir les lister toutes, et je m'en excuse par avance, vous en découvrirez quelques-unes dans cet article, avec lesquelles nous avons eu l'occasion de collaborer.

RELATIONS AVEC LES INDUSTRIELS

Les missions de 3AF (héritées de son rôle de société savante sectorielle) l'amènent à s'emparer des questions techniques et scientifiques (majoritairement orientées produits, et dans une moindre mesure procédés et performance industrielle) adressées par les acteurs industriels majeurs sur qui reposent la prééminence et la compétitivité futures de l'industrie nationale, et - pour pouvoir y répondre - à accueillir en son sein les dépositaires des savoirs et des compétences les plus pointus dans de nombreuses disciplines. Le tissu industriel régional, très largement constitué de PME-ETI, et majoritairement positionné sur les activités court-terme de fabrication et d'assemblage, et non de conception ou de prospective, rend difficile - si ce n'est la prise de contact - du moins la concrétisation en relations « associatives » avec une population active par



Crédit : APAM – Hauts-de-France Terre d'Envol

nature très peu disponible. Ce d'autant plus qu'une large partie de ces industriels s'est déjà constituée en association (ALTYTUD), association qui les représente auprès du GIFAS. Le Groupe Régional Hauts-de-France a donc adopté une stratégie pragmatique et opportuniste, en travaillant directement et étroitement depuis 2019 avec ALTYTUD, en se mettant à l'écoute des préoccupations et des besoins très concrets remontés via ce canal.

Une première action conjointe – qui fut d'ailleurs l'occasion de nous faire connaître des membres de l'Association Aéronautique Histoire de Méaulte (AAHM), elle-même membre d'AIRITAGE - fut organisée avec ALTYTUD le 18 septembre 2020 (45 participants en présentiel, malgré la situation sanitaire, en partenariat avec ONERA-Alumni) : le Colloque « Henry Potez » fut accueilli dans les locaux de la plateforme technologique régionale du Pays du Coquelicot, Industrilab, à Méaulte (mitoyen du site historique de production de l'entreprise Potez, toujours en activité, aujourd'hui intégrée dans AIRBUS-Atlantic), en la présence d'Antoine Potez (arrière-petit fils d'Henry, actuel dirigeant de Potez Aéronautique, Aire sur l'Adour), et de Stéphane Demilly, à l'époque Député et aujourd'hui Sénateur de la Somme. L'occasion, avec l'histoire de ce pionnier de l'aéronautique, était toute trouvée pour rappeler



Crédit : ALTYTUD - <https://www.altytud.fr/>



Annnonce Colloque Henry Potez

s'il en était besoin combien l'innovation technologique à l'œuvre dans le secteur aéronautique reste source de fierté pour les ingénieurs y ayant participé, et de motivation pour les jeunes générations, dont le rôle sera essentiel pour faire émerger les concepts de demain dans un contexte radicalement nouveau. L'évènement fut enregistré par le média Coworking Channel, et est toujours accessible en ligne, en suivant le lien <https://coworkingchannel.news/colloque-henri-potez-introduction/>

RELATIONS AVEC L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET LA RECHERCHE

Le GR Hauts-de-France s'est enfin tourné - très naturellement - vers le public étudiant, et l'enseignement supérieur en région Hauts-de-France, pour organiser ses premières actions, avec d'abord des visites (organisées annuellement) de l'ONERA-Lille par des groupes de collégiens, de lycéens, de DUT et BTS, et d'Écoles d'ingénieurs. Des contacts ont également été établis avec le rectorat de l'Académie de Lille (CIRAS). En termes de manifestations, les premiers contacts avec les élèves de Centrale-Lille et d'Elisa Aerospace dès 2019 se sont immédiatement concrétisés en la création d'une Antenne Jeunes Régionale 3AF Hauts-de-France, et par un projet, le « Summer Space Festival », qui fut sponsorisé par la Région Hauts-de-France, la Métropole Européenne de Lille, et d'autres partenaires académiques et industriels. Avec un budget de 43 k€ (30 k€ de subventions, 13 k€ de partenariat en nature), et malgré un contexte incroyablement défavorable (en pleine crise COVID-19), le dossier fut monté et déposé en 2020, et la manifestation tenue en accord avec le calendrier le premier week-end de juillet 2021 (malgré une météo très versatile la semaine précédant l'évènement ; j'en profite pour remercier nos partenaires pour leur souplesse et leur agilité), grâce à une équipe organisatrice de jeunes bénévoles ne voulant rien lâcher. Le succès fut au rendez-vous, avec près de 5 000 visiteurs, un relais important sur les réseaux sociaux, succès à l'origine de deux autres éditions organisées en 2022 (à Bruxelles) et en 2023 (à Luxembourg) : pour l'anecdote, les dernières réunions de « team building » auxquelles j'ai participé se sont tenues en anglais, l'organisation de l'évènement s'étant ouverte à l'international, et je peux confirmer que nos jeunes français sont plus à l'aise que moi avec la langue de Shakespeare.

CONCLUSION – HAUT ET FORT

Une numéro spécial Hauts-de-France de l'ancienne Lettre 3AF(n°48) fut rédigé et publié en Juin 2021, dont j'ai grand plaisir avant que de conclure à rappeler le sommaire en la présente occasion. Cet article fit office en quelque sorte de première communion pour le groupe régional. Les lecteurs de cette nouvelle Lettre, membres de 3AF, pourront en retrouver le contenu sur le site internet de l'Association.

Pour conclure, redisons-le, la région des Hauts-de-France peut se prévaloir d'une longue histoire Aéronautique, histoire née de l'amour et de la passion de nombreux et illustres pionniers. Malheureusement freinée dans son élan après la seconde guerre mondiale, cette histoire ne s'est néanmoins pas arrêtée et continue de s'écrire, certes plus modestement que dans d'autres régions qui ont pris le relais et que j'applaudis par ailleurs (petit clin d'œil aux autres présidents de groupes régionaux 3AF). C'est cet amour et cette passion que le GR 3AF Hauts-de-France se propose de nouveau d'alimenter, de partager, et de transmettre. Cette reconquête d'un territoire prendra du temps, mais les premiers résultats sont à la hauteur des ambitions du groupe.

En 2024, notre première ambition sera d'augmenter les effectifs du groupe (une quarantaine de membres, principalement des étudiants et jeunes actifs, au plus fort de son succès), et d'en diversifier la population : l'intégration d'actifs et de retraités s'avère en effet essentielle pour constituer un vivier de bénévoles plus stable dans le temps. La montée en puissance du partenariat avec ALTYTUD fait à ce titre partie des objectifs affichés du Groupe Régional Hauts-de-France pour 2024. La poursuite des échanges – et plus si affinités - avec les autres associations régionales, et les actions à destination du monde étudiant, vont naturellement sans dire. Pour attirer ces volontaires, il faudra néanmoins et avant toute chose proposer des projets motivants, visibles et valorisants, ce à quoi nous nous attacherons dans les prochains mois.



3AF / Summer Space Festival – 1^{ère} Edition (Lille, 2021)
<https://summerspacefestival.eu/>

TABLE DES MATIÈRES	
LETTRE 3AF NUMÉRO 48 / JUIN 2021	
<p>3 ÉDITORIAL</p> <p>4 PRÉFACES</p> <p>INTERVIEW</p> <p>9 ERICK MAILLET <i>par Jean-Yves Guedou</i></p> <p>11 ALINE DOYEN, PRÉSIDENTE D'ALTYTUD <i>par Eric Deletombe</i></p> <p>POINT DE VUE</p> <p>13 CAP'INDUSTRIE <i>par Sophie Perret-Ducray</i></p> <p>15 AÉR'HAUTS-DE-FRANCE, UNE MARQUE POUR FAIRE CONNAÎTRE ET RECONNAÎTRE LA FILIÈRE AÉRONAUTIQUE DES HAUTS-DE-FRANCE <i>par Sophie Perret-Ducray</i></p> <p>17 LE SITE STELIA AEROSPACE DE MÉAULTE, RÉSOLUTION TOURNÉE VERS L'AVENIR <i>par François Fournier</i></p> <p>AÉRONAUTIQUE</p> <p>19 DRONES @ONERA : VERS UNE MAÎTRISE DU RISQUE ET DES NUISANCES SONORES <i>par Laurent Planckaert et Quentin Gallas</i></p> <p>28 LA TOUR DE CRASH DU CENTRE ONERA DE LILLE <i>par Jacky Fabis, Julien Berthe et Gérald Portemont</i></p> <p>32 LA PLATE-FORME CONTRAERO <i>par Bruno Mialon</i></p> <p>36 UNE EXPERTISE DU CENTRE ONERA DE LILLE : CONCEVOIR ET RÉALISER DES MAQUETTES AÉRODYNAMIQUES DE HAUTE TECHNICITÉ <i>par Frédéric Ternoy, Gilles Outtier et Emmanuel Eglinger</i></p> <p>44 CONTRÔLE D'ÉCOULEMENTS EN AÉRODYNAMIQUE <i>par Bruno Mialon</i></p> <p>52 LA 55^e CONFÉRENCE INTERNATIONALE D'AÉRODYNAMIQUE APPLIQUÉE <i>par Jean Détery</i></p>	<p>ESPACE</p> <p>59 THOMAS PESQUET DANS L'ESPACE <i>par Pierre Cordesse</i></p> <p>FORMATION</p> <p>60 ELISA AEROSPACE : UNE EXPERTISE TECHNIQUE ET PLURIDISCIPLINAIRE DANS UN MONDE EN PROFONDS BOULEVERSEMENTS <i>par Chantal de Turckheim</i></p> <p>64 LE LABORATOIRE DE MÉCANIQUE DES FLUIDES DE L'IUT DE VILLE-D'AVRAY <i>par Ali Hocine</i></p> <p>69 LE GROUPE DE TRAVAIL MECADYMAT DE L'ASSOCIATION MECAMAT <i>par Eric Deletombe et Patrice Longere</i></p> <p>70 LE SUMMER SPACE FESTIVAL : LE PROJET PHARE DE L'ANTENNE JEUNES HAUTS-DE-FRANCE <i>par Antoine Bocquier et Anthyme Durlin</i></p> <p>VIE 3AF</p> <p>73 LE GROUPE HDF ET SON COMITÉ JEUNE <i>par Gérard Laruelle et Anthyme Durlin</i></p> <p>HISTOIRE</p> <p>76 LE CENTRE DE LILLE DE L'ONERA - INSTITUT DE MÉCANIQUE DES FLUIDES DE LILLE, 90 ANS AU SERVICE DE L'AÉRONAUTIQUE <i>par Eric Deletombe et Jean-Luc Charles</i></p> <p>83 LOUIS SUSANE, PIONNIER DE LA FUSÉE DU 19^{ème} SIÈCLE À METZ <i>par Philippe Jung</i></p> <p>95 IL Y A 60 ANS, NAPOLEON EN SOUFFLERIE <i>par Marie-Claire Coët et Bruno Chanetz</i></p> <p>NOTES DE LECTURE</p> <p>102 PLANEURS ET AVIONS MAURICE BROCHET <i>par Patrick Gilliéron</i></p> <p>ÉVÈNEMENTS 3AF</p> <p>103 LES PROCHAINS ÉVÈNEMENTS</p>

AGENDA DES COLLOQUES 2023

- **AERO 2023** : Applied Aerodynamics / 27-29 mars (ENSAM -Bordeaux).
- **IAMD 15** : Integrated Air Missile Defence / 13-15 juin (Porto / Portugal).
- **ETTC 2023** : European Test and Telemetry Conference / 13-14 juin (Toulouse).
- **P2I 2023** : Propriété Intellectuelle et Innovation / 4-5 octobre – (Bordeaux).
- **Combat Aéroterrestre 2035** : La Bulle Aéroterrestre à l'horizon 2035 / 14-15 novembre (Versailles).

AGENDA DES COLLOQUES 2024

- **OPTRO2024** : 11th International Symposium on Optronics in Defence and Security / 23-25 janvier (Bordeaux).
- **MEA 23+1** : More Electric Aircraft / 7-8 février 2024 (ISAE - Toulouse).
- **AERO2024** : 58th International Conference on Applied Aerodynamics / 27-29 mars (Orléans).
- **SP2024** : 9th International Conference on Space Propulsion / 20-23 mai (Glasgow/UK).
- **ERTS** : Embedded Real Time Systems / (Toulouse Diagona - 2^{ème} semaine de juin 2024).
- **ERF2024** : 50th European Rotorcraft Forum / 10-12 septembre (Marseille).
- **IES 2024** : Intelligence Économique et Stratégique / novembre (Strasbourg).

L'AGENDA INTERNATIONAL

- Réunions et activités du conseil d'administration du CEAS.
- 9-13 juillet 2023 : (Lausanne) **Aerospace Europe Conference 2023**, Joint 10th EUCASS - 9th CEAS Conference, <https://eucass-ceas-2023.eu/>
- 2-6 octobre 2023 : **IAC 2023**, (Bakou), Azerbaïdjan

Inscrivez-vous pour nos prochains colloques



<https://www.3af-cat2035.com/rates-registratiion>

L'AGENDA NATIONAL

- Mardi 19 septembre de 18h30 à 20h00 en visiophonie : **Les challenges de la qualification du système d'éjection du rafale**, par **Jacques Lacheny** en partenariat avec le groupe "Centre" de 3AF et le Groupement des Ingénieurs et Cadres Supérieurs de l'Aviation Civile (GIACRE).
- Mardi 19 novembre 2023, 18h30/20h00 en visiophonie : **Le transport Aérien** : gestion du Fret par **Pascal Morvan**, War Raog Consulting.
- Mardi 5 décembre 2023, 18h30/20h00 en visiophonie : **Nouveaux Design pour les ailes d'avions du futur**, par **Marianna Braza**, IMFT.

3AF NOUVELLE AQUITAINE :

- Mardi 26 septembre de 18h00 à 19h00 - Pôle culturel de la Haye - 33320 Le Taillan-Médoc : **Les Lanceurs réutilisables**, par **Élisa Cliquet-Moreno**.
- Lundi 27 novembre 2023 – Salle Hermes Saint Aubin du Médoc : **Systèmes Hypersoniques et Espace, vers une nouvelle guerre des étoiles**, par **Alexis Daboville**, ArianeGroup.

3AF MIDI-PYRÉNÉES :

- Mercredi 11 octobre 2023 à Supaéro : **"ZEROe-Reducing the climate impact of flying"**.
- Mercredi 18 octobre 2023 à 18h00 à L'envol des pionniers : **Marie Marvingt – La fiancée du danger**, par **Guy Destarac**.
- Mercredi 25 octobre à 19h00 à la Cité de l'espace : **Voyages planétaires** par **Marc Rieugné**, ingénieur chez Airbus et membre 3AF. Organisé par Amis de la Cité de l'Espace et 3AF.
- Mercredi 13 décembre à 19h00 à la Cité de l'espace : **Vers une régulation du trafic spatial** par **Laurent Francillout** du CNES. ■



<https://www.3af-optro.com/rates-registratiion>



Association Aéronautique
et Astronautique de France

www.3af.fr