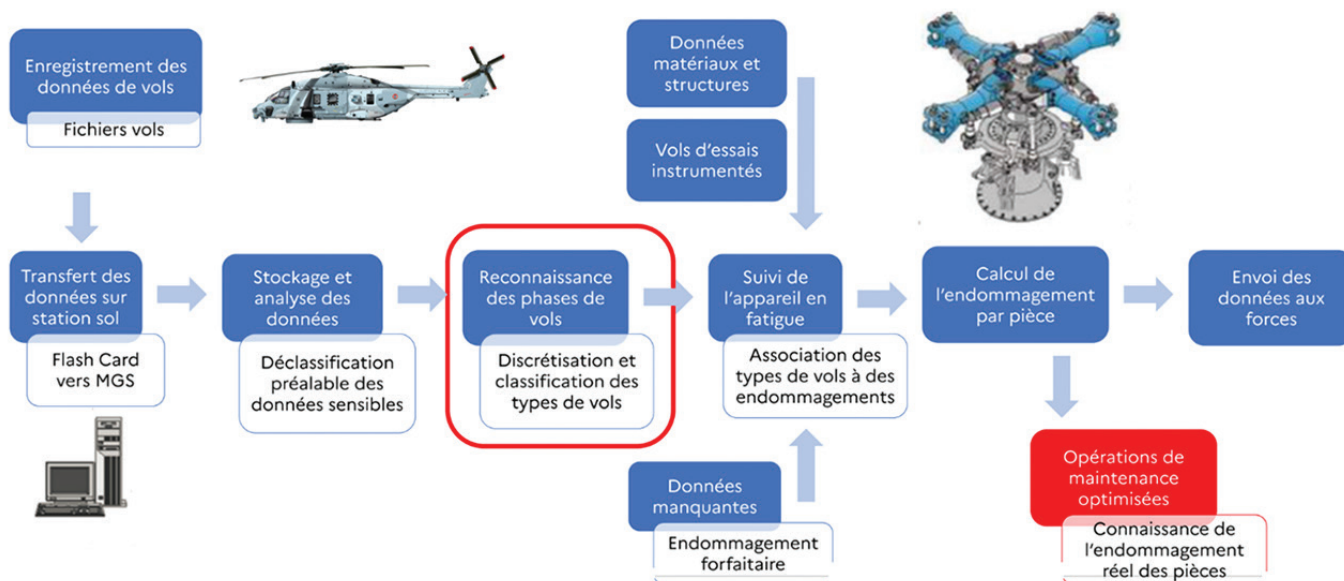


SYNTHÈSE DE LA JOURNÉE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA COMMISSION 3AF STRUCTURES

PARMI LES THÈMES TRAITÉS :



PRINCIPE DU SUIVI EN FATIGUE DES HÉLICOPTÈRES (DGA TA)

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

AÉRONAUTIQUE

- 4 **DOSSIER : SYNTHÈSE DE LA JOURNÉE SCIENTIFIQUE ET
TECHNIQUE DE LA COMMISSION 3AF STRUCTURES**
*par Stéphane Grihon (Airbus), Bruno Mahieux (SAFRAN)
et Éric Deletombe (ONERA)*

DÉFENSE

- 17 **LE PROGRAMME SCAF : ENJEUX ET PERSPECTIVES**
*par le président de la CT CSAI - Philippe Charruyer
et la contribution CSAI - Rédacteurs : Maurice Desmoulière,
Bertrand de Montluc, Henry de Roquefeuil, Philippe Muller-
Feuga, Claude Roche*

ESPACE

- 22 **ARCHITECTURE PROPULSIVE PERMETTANT
UNE EXPLORATION DU MILIEU INTERSTELLAIRE**
par Dominique Valentian, CT Transport Spatial 3AF

- 24 **VERS LE VOL INAUGURAL D'ARIANE 6**
par Jean-Pierre Sanfourche

- 25 **ARIANE 6 : FAITS ET CHIFFRES CLÉS**
D'après Wikipédia

- 26 **UN ESSAI À LIRE : L'ESPACE ET LE NEWSPACE
AU SERVICE DU CLIMAT**

- 27 **STRATÉGIE ET RELATIONS INTERNATIONALES
2023 : UNE ANNÉE RICHE EN ACTUALITÉS SUR LES PAN**
Rédaction collective de la CT SIGMA2

CULTURE

- 34 **L'HUMANITÉ, ENTRE ROYAUME ET TÉNÉBRES**
par Jacques Arnould (Cnes)

VIE DE LA 3AF

- 37 **COMBAT AÉROTERRESTRE 2035**
par Jean-François Coutris

- 38 **RAPPORT DU COLLOQUE P2I-2023**
par Jean-Marc Brunel

- 39 **LA RÉUNION DU HAUT CONSEIL SCIENTIFIQUE
TENUE LE 15 NOVEMBRE 2023**
par Jean-Pierre Sanfourche

- 40 **GROUPE RÉGIONAL 3AF PROVENCE**
par Louis Fabre (Airbus Helicopters)

- 43 **CALENDRIER DES ÉVÉNEMENTS**



LE MESSAGE DU PRÉSIDENT

Chères lectrices et chers lecteurs,

L'année 2023 vient tout juste de s'achever. Une année exceptionnelle et dont nous pouvons être fiers à bien des égards pour la 3AF !

Je rappelle brièvement nos réalisations les plus notables :

- Nos Commissions Techniques ont été à nouveau très productives, poursuivant activement leurs différentes études.
- Nos colloques ont connu un grand succès, en particulier la Conférence Internationale de Défense Anti-Missiles IAMD qui en mai 2023 a célébré à Porto son vingtième anniversaire, et la seconde édition du colloque « Combat Aéroterrestre 2035 » qui s'est tenue à Versailles les 14 et 15 novembre devant une nombreuse assistance.
- Nous avons étendu notre présence sur le territoire national, en nouant notamment un accord avec le Cluster EDEN qui représente désormais la 3AF en Région Auvergne-Rhône Alpes et en constituant une délégation régionale en Région Bretagne-Pays de Loire.
- Du côté des réseaux sociaux, la fréquentation de notre site internet a progressé de 50% en tout sur l'année, franchissant le seuil des 12.000 visites mensuelles et 11.000 visiteurs. La même progression a caractérisé cette année 2023 pour le nombre d'abonnés à notre page linkedIn.
- Conformément aux résolutions prises lors de notre Assemblée Générale du 6 juillet, nous avons procédé à la mise en place de notre structure « 3AF Events » en vue d'améliorer la programmation de nos colloques et journées d'études.

L'année 2024 s'ouvre sur de belles perspectives :

- Une programmation record avec plus de huit colloques. Le mois de janvier donne le ton, avec le *workshop* co-organisé avec la SFEN (Société Française d'Energie Nucléaire) sur le thème du nucléaire au profit du secteur spatial. Viendront ensuite la conférence sur les Transports de demain organisée avec nos partenaires du Musée de l'Air et de l'Espace et l'Université de Paris Nanterre, la conférence OPTRO 2024 à Bordeaux, *Space Propulsion* à Glasgow, ERF2024 (*European Rotorcraft Forum*) à Marseille.

- La poursuite de la mise en place de la structure « 3AF Events ».
- La conversion de notre site web en version bilingue Anglais/Français afin d'échanger beaucoup plus avec l'étranger.
- La cérémonie de Remise des Prix 3AF qui se tiendra lors de notre prochaine Assemblée Générale.

Je souhaite également accorder en 2024 une priorité toute particulière à la conquête de nouveaux adhérents, notamment les plus jeunes.

Le présent numéro de la Lettre 3AF témoigne de la vitalité de notre association, avec la synthèse de la Journée Scientifique et Technique de la Commission Structures, les réflexions du Groupe de Travail sur le Système de Combat Aérien du Futur (Scaf), les travaux de la Commission Transport Spatial sur un projet de sonde d'exploration de l'Univers, et la contribution de la Commission Sigma 2 aux activités relatives aux PAN (Phénomènes Anormaux Non identifiés) menées au niveau international.

Les projets spatiaux de plus en plus ambitieux incitent à s'interroger sur l'avenir de l'humanité, aussi ai-je le grand plaisir de publier dans ce magazine l'article de Jacques Arnould « L'Humanité, entre Royaume et Ténèbres ».

La rubrique « Vie de la 3AF » décrit le déroulement de deux récents colloques - « Propriété Industrielle et Innovation » et « Combat aéroterrestre 2035 » -, ainsi que les conclusions de la dernière réunion du Haut Conseil Scientifique. Quant à la vie de notre association au niveau régional, elle est cette fois-ci illustrée par les activités du Groupe 3AF Provence.

Toute l'équipe de 3AF vous adresse ses meilleurs vœux pour cette année 2024 !

Bien amicalement,

Louis Le Portz
Président de la 3AF

DOSSIER : SYNTHÈSE DE LA JOURNÉE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA COMMISSION 3AF STRUCTURES

Application aux Structures Aérospatiales des Avancées Récentes en Intelligence Artificielle et Science des Données - Duplex SAFRAN Tech (Palaiseau) - AIRBUS SAS (Toulouse) - 25 avril 2023

Par Stéphane Grihon (Airbus), Bruno Mahieux (SAFRAN) et Éric Deletombe (ONERA)

OBJECTIFS

Il est devenu courant depuis l'avènement du phénomène « Big Data » de déclarer que nos données sont une mine insuffisamment exploitée. Comment se décline ce constat dans le cadre du cycle de vie des structures aéronautiques et spatiales ? En effet, le cycle de vie des structures aérospatiales constitue un champ d'application indubitable en Sciences des Données, tant une structure aérospatiale peut être abordée comme un système complexe qui nécessite à différentes échelles des méthodes d'analyse relevant soit de la simulation, soit de l'empirique et générant au total des quantités massives de données. De plus, la nécessité du suivi de chaque structure en qualité et en maintenance opérationnelle entraîne un flot de données continu provenant de la fabrication et de l'exploitation. Tous les éléments sont donc réunis pour fournir un contexte d'application fructueux pour les sciences des données.

En phase de conception l'aspect périodique et le haut taux de réutilisation des structures pour avions et systèmes spatiaux dérivés (variantes de masse par exemple) autorisent à préparer des modèles basés sur les données pour accélérer les calculs de conception jusqu'à la certification et réduire les temps de cycle et de mise sur le marché. Les approches traditionnelles de calibration de modèles sur base expérimentale peuvent être également traitées avantageusement par l'usage de techniques d'assimilation des données utilisant des méta-modèles à la jonction entre la simulation et l'expérimental. L'ascension récente des modèles physiquement informés s'appuyant essentiellement sur des réseaux de neurones artificiels est une voie prometteuse d'accélération des simulations structurales et se prête bien à des approches hybrides simulation/expérimental. Ces deux leviers permettent d'améliorer la représentativité des modèles et de réduire les conservatismes sans dégrader les niveaux de sécurité. Il faut toutefois remarquer le déséquilibre à gérer entre les données expérimentales plus

coûteuses à obtenir et plus rares et les données de simulation plus faciles à générer et plus nombreuses. Quoiqu'il en soit, les méthodes frugales nécessitant peu de données restent un axe à privilégier pour minimiser à la fois l'effort de simulation et l'effort expérimental.

Enfin, les solutions de conception, de réparation ou de maintenance se trouvent souvent dans l'historique des données qui restent à analyser. C'est là le moyen de réduire à nouveau les temps de cycle et de réponse au client. L'analyse des bases de données opérationnelles permet de raffiner les conditions de conception et d'adapter les exigences de certification donnant lieu à un produit plus optimisé qui conserve tous les requis de sécurité. Quant au suivi opérationnel, il permet de raffiner les hypothèses de modélisation et d'adapter les programmes de maintenance aux besoins de chaque opérateur, potentiellement individualisé pour chaque système, ce qui apporte un gain significatif dans l'exploitation opérationnelle. A noter que dans le cadre de la surveillance en continu de la santé des structures, il est nécessaire d'enrichir les modèles pour prendre en compte l'évolution des propriétés et des performances (apprentissage augmenté) et autoriser à la fois diagnostic et pronostic.

Tous ces sujets sont autant d'exemples de cas d'usage des Sciences des Données en émergence chez la plupart des concepteurs et opérateurs du secteur aérospatial, avec le soutien des laboratoires de recherche. Ils témoignent de la vitalité du domaine que cette journée 3AF propose d'explorer en apportant le nécessaire regard critique sur leur potentiel et leur maturité, et en donnant les perspectives d'évolution à court et moyen terme.

La conférence plénière de cette journée, intitulée « Données et intelligence augmentée par la physique pour de nouvelles démarches prédictives » fut donnée par Pierre Ladevèze (LMPS Paris-Saclay) et Francesco Chinesta (Arts & Métiers Paris). Elle avait pour but de

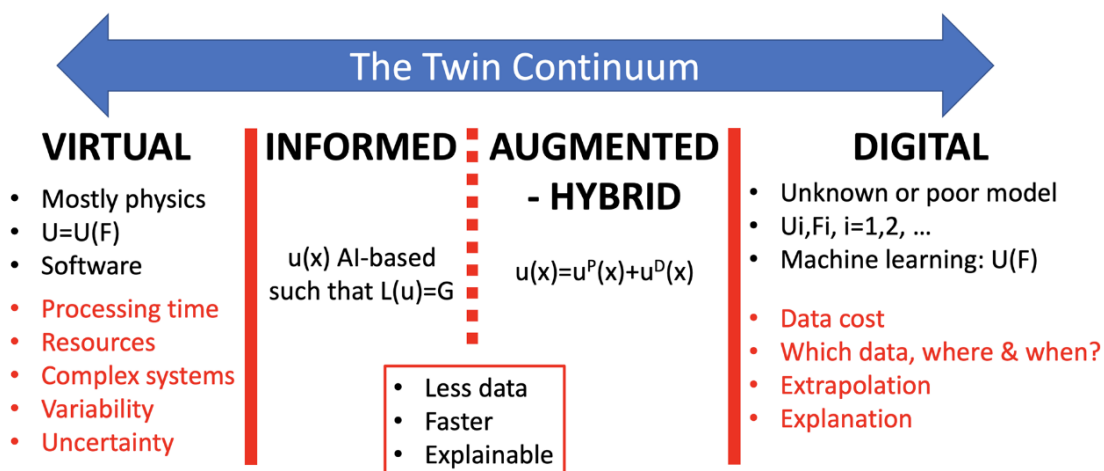


Fig.1 Le contexte actuel de la simulation intégrant les apports des sciences de la donnée

restituer la science des données dans le contexte de la simulation pour l'ingénierie, de donner des exemples d'applications et d'adresser quelques recommandations.

Le contexte fut d'abord introduit en faisant remarquer une nette orientation de la simulation pour l'ingénierie au 21^{ème} siècle, de bout en bout, couvrant le cycle de vie de la conception à l'opérationnel, du composant au système de système, grâce précisément à la science des données et se déclinant suivant la part d'utilisation de la donnée en 4 champs : la simulation physique, physiquement informée, hybride et purement orientée par la donnée.

Les différentes méthodes d'analyse/de traitement furent alors décrites, et la diversité de la typologie des données (listes, images, graphes, courbes, séries temporelles) s'appuyant sur de la simulation ou des mesures rappelée, en soulignant l'importance de la représentativité et de la complétude de ces données. Furent ensuite évoquées les techniques de réduction de dimension et en particulier les auto-encodeurs qui permettent de dégager des variables latentes pour un modèle portant sur un espace d'entrées de grande dimension. Enfin, un inventaire des différents modèles d'apprentissage machine fut dressé, et un encouragement à commencer d'abord par des modèles simples comme les polynômes, donné.

Pour le champ d'application aérospatial, aux contraintes de sécurité particulièrement sévères, un requis attendu des résultats des analyses/traitements concerne le respect des principes de la physique et des

équations de comportement scientifiquement établies (ne pouvant qu'être enrichies par la connaissance du comportement expérimental) : en conséquence, un cadre hybride – dans lequel la construction du modèle est pilotée par une fonction hybride mélangeant la distance aux équations de comportement et à la mesure – s'impose, garantissant la pertinence d'emploi des approches purement mathématiques de la science de la donnée.

Dans le domaine applicatif, un cas d'école fut d'abord discuté (poutre en flexion) pour montrer la difficulté à généraliser des modèles orientés par la donnée : il est d'abord montré qu'une approche purement « données », empirique, qui nous ramènerait à l'époque de Galilée car ignorant la connaissance moderne des comportements physiques, est clairement à proscrire. Une seconde application, concernant la plateforme de vibration du CEA (pour simulations sismiques), fut ensuite présentée : l'enjeu de l'exercice est de détecter et modéliser l'endommagement dans les liaisons structurales. Un modèle grossier est utilisé, avec son lot de paramètres, et alimenté par des mesures. L'erreur de modélisation et la distance aux données sont minimisées en utilisant la technique de pondération de Morozov (de façon à ce que l'erreur de modélisation soit de même niveau que l'erreur de mesure). Une régularisation de Tikhonov est utilisée. Le contrôle se fait par un filtre de Kalman en utilisant les 3 premières fréquences propres de la plateforme, ce qui donne par nature accès à des intervalles de confiance. Les résultats ainsi obtenus montrent que les pics de réponse sont correctement représentés. D'autres applications furent présentées

dans le domaine de l'identification de lois de comportement pour les matériaux, où il s'avère qu'une approche pilotée par la donnée (*data-driven*) permet de construire des modèles, à partir d'une base empirique, capables de donner des résultats fidèles aux données, avec néanmoins - en l'absence (et parfois même en présence) de fondement physique - des difficultés à extrapoler hors du domaine ayant servi à la construction du modèle. Un premier exemple concernait une loi d'endommagement matériau avec des comportements différents en traction-compression, mesurés par fibre optique, pour laquelle différentes méthodes visant à forcer la convexité de la fonction énergie (enveloppe de fonctions linéaires, méthodes à noyau, réseau de neurone à architecture particulière) étaient comparées. Un deuxième exemple s'intéressait à un comportement élasto-plastique complexe où devaient être identifiées des variables cachées. Enfin, un autre champ d'application fut évoqué, qui concernait le diagnostic et le pronostic de la santé des structures : un exemple de projet de génie civil fut présenté, qui s'intéressait à l'analyse de la santé structurale d'un pont, pour laquelle un drone était utilisé afin de compenser la difficulté d'équiper l'ensemble de la structure avec des capteurs, ce qui permettait d'aller chercher et acquérir la donnée « au bon endroit » en utilisant différents moyens. Le diagnostic est alors établi en temps réel grâce à un réseau de neurones, par écart au modèle mécanique, sur la base d'un plan d'expérience contenant des millions de cas de dommage simulés, ce qui permet au drone (à son opérateur, équipé de lunettes de réalité virtuelle pour « voir » comme le drone) de détecter des dommages sur tuyaux lors de l'inspection.

En conclusion, les principales étapes préconisées pour l'établissement d'une démarche fiable et prédictive d'analyse mécanique, fondées sur les données, sont rappelées : (1) poser le problème mécanique, (2) questionner les données disponibles : lesquelles, où, quand, utilité, accessibilité, (3) dresser l'état des connaissances préalables, (4) proposer une méthode de validation de la méthode/des résultats, et (5) évaluer le coût de la démarche.

La seconde intervention de la journée, intitulée « Modèles de substitution pour le calcul des charges et des structures : validation et vérification », fut donnée par Stéphane Grihon (AIRBUS SAS), co-organisateur de la journée. L'objectif de l'exposé était de présenter les méthodes mises en place par Airbus pour faire la vérification et la validation des modèles de substitution ou "*surrogate models*", plus parti-

culièrement dans le contexte charges/analyses de structure. Un rappel de ce qu'est un modèle de substitution fut d'abord effectué : principe mathématique et intérêts industriels, ces derniers étant multiples, le plus courant étant celui d'accélérer les processus de simulation, en cherchant à limiter les étapes d'intégration et les interventions humaines. Les types d'application évoquées sont alors divers : jumeau numérique, optimisation, nouveaux services, avec un nouveau domaine en pointe de la recherche, l'hybridation.

Le contexte interne Airbus se caractérise par des projets internes avancés en termes d'implémentation dans le domaine charges/analyse en contrainte, et l'implication dans des groupes de travail internationaux (EUROCAE WG114, SAE G34) visant à construire le futur standard de certification des produits issus de l'intelligence artificielle. A noter que l'EASA participe au WG114 mais produit aussi ses propres documents (par exemple un « *concept paper* », comme premier document certificatoire) et monte des projets sur l'IA de confiance. Un groupe de travail interne à AIRBUS a été créé pour harmoniser ces différentes initiatives et avoir un référentiel interne de méthodes propre, pour répondre aux exigences de vérification et validation en vue de la certification. L'activité 2022 sur ce point a consisté à écrire une première version de rapport en commençant par l'évaluation de modèles, qui doit ensuite piloter l'évaluation des données. Des chapitres complémentaires ont été ajoutés sur l'explicabilité et le lien au « *concept paper* » de l'EASA. Des activités parallèles ont enfin été menées sur le projet pilote AIRBUS Aero2stress.

Il est rappelé que pour construire un bon modèle de substitution, les données doivent être complètes et représentatives. L'extrapolation ne fonctionne pas avec le pur pilotage par la donnée (*data-driven*) qui n'autorise que l'exercice d'interpolation, dans les bornes du domaine de conception. L'hybridation avec les équations de la physique, qui en est à ses premiers pas et pourrait conférer une capacité à extrapoler, n'est pas toujours applicable. On parle donc pour l'instant chez AIRBUS plus exactement de généralisation, et on se limite au périmètre du domaine des entrées ou « *Operational Design Domain* ». La propriété majeure à assurer pour un modèle de substitution, sa robustesse, consiste à parer en opération toute donnée qui pourrait être mal prédite. Il faut pour cela un prédictif d'erreur. Le domaine de conception généralement continu ne pouvant jamais être connu dans sa totalité, la caractérisation de cette erreur est toujours probabiliste : on

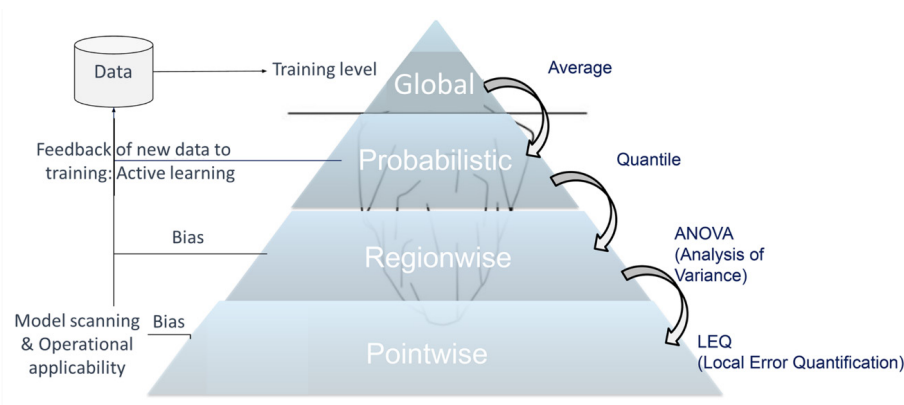


Fig.2 Approche pyramidale développée chez AIRBUS pour la précision et la robustesse des modèles de substitution

cherche à montrer qu'elle reste inférieure à ε pour une probabilité supérieure à $1 - \delta$ (niveau de risque), ε et δ devant être bien spécifiés au début de l'étude. La généralisation proposée par AIRBUS est finalement supportée par un compromis entre biais, variance, et stabilité, qui sont des propriétés importantes (NB : mais secondaires par rapport à la robustesse).

L'approche d'Airbus est, dans un sens, plus exigeante que ce qui apparaît dans les standards en cours d'élaboration. Elle propose une analyse de l'erreur pyramidale qui part d'un niveau global d'erreur qui correspond en général à la fonction de perte minimisée lors de l'apprentissage, puis qui analyse l'erreur par région et finalement ponctuellement, produisant par la même occasion un estimateur qui permet d'assurer la robustesse en opérations et doit être déployé avec le modèle. À chaque étage de la pyramide, il peut se produire une itération si la distribution de l'erreur n'est pas satisfaisante : soit le modèle est remis en cause (réglage des hyperparamètres), soit ce sont les données (échantillonnage adaptatif, apprentissage actif).

La méthode développée au stade ponctuel « *Local Error Quantification* » offre le moyen d'évaluer l'erreur en tout nouveau point et permet ainsi par son utilisation en opération de garantir la robustesse du modèle. Si le niveau d'erreur prédite est au delà de ce qui a été spécifié alors le modèle n'est pas utilisé et un back-up doit être employé (la simulation d'origine par exemple).

En conclusion, il est rapporté que les derniers travaux menés chez AIRBUS SAS ont permis de travailler sur l'évaluation des données avec un regard critique, car c'est une vérification indirecte qui sera faite par la qualité du modèle. La traçabilité est un aspect majeur du processus, étant donnée la dépendance des modèles

aux données. Si la vérification des données en opérations est essentielle, l'explicabilité n'est quant à elle pas un point majeur. Enfin, les activités à venir viseront à consolider ce travail et l'appliquer plus particulièrement au projet HALO (*Hard Landing Optimization*).

La troisième présentation du séminaire, était intitulée « Prise en compte de la variabilité dans la conception : exemples industriels », par Frédéric Bonnet, Christophe Colette, Elisabeth Ostojak-Kuczynski, Gérard Senger (SAFRAN Helicopter Engines). Elle visait à montrer, à l'aide de cas d'école et d'exemples concrets, comment s'opère la gestion des incertitudes en lien avec la fabrication (tolérancement), pour les structures de moteurs d'hélicoptères. Ces moteurs restent en opération pendant des dizaines d'années, ils fonctionnent pendant des milliers d'heures, et sont en production pendant 30 à 40 ans. Ils sont naturellement soumis à la variabilité et, de plus, à un environnement changeant en termes de fournisseurs, opérateurs, machines-outils, etc.

Pour expliciter les raisons/les objectifs d'une prise en compte de la variabilité en conception, l'exemple du jeu résultant d'un empilement de pièces fut utilisé (traité simplement en une dimension). Une première approche - l'utilisation d'amortissement statistique - s'avère ne pas suffire car elle peut amener à obtenir des couples définition/fabrication non robustes au changement, par exemple lors du passage à une machine plus précise qui déplace la conception hors de l'espace de variabilité originel : des pièces unitaires conformes à la conception, néanmoins non conformes à l'assemblage après relaxation de l'exigence de centrage. Le second exemple évoqué, celui d'une roue de turbine à pales rapportées, s'avère assez proche du cas d'école précédent : si le jeu inter-pales est trop

important, se pose un problème de performance, s'il est trop faible, c'est la montabilité qui est impactée. Un compromis est donc à trouver : pour cela, se donner la possibilité d'avoir des pales et des distances non uniformes permet d'élargir le domaine de conception.

Concernant cette fois la façon de prendre en compte la variabilité en conception, un exemple multidimensionnel (sur deux variables) fut ensuite discuté : la possibilité étant offerte avec une nouvelle machine de satisfaire plus rigoureusement un intervalle de tolérance de fabrication, une question fonctionnelle s'en trouvait impactée, la solution la plus évidente pour résoudre le problème (recentrer l'intervalle de tolérance) s'avérant infaisable : ceci illustrant l'importance/la nécessité de prendre en compte dans un problème multi-variables, les corrélations et les restrictions entre variables. Fut ensuite expliqué que les approches théoriques ou basées sur des solveurs numériques étaient alors à utiliser avec prudence : avant de ce faire, il fallait avoir identifié au préalable les bons paramètres et leur distribution, sous peine de faire des erreurs d'interprétation ou de fournir des résultats erronés. Ainsi, l'hypothèse « normale centrée » pouvait donner des résultats très éloignés de ceux obtenus avec une distribution réelle, constatée. Un autre exemple industriel, celui du brochage d'alvéoles de turbine, fut encore présenté, pour lequel la variabilité de certains paramètres était évolutive dans le temps (écarts-types court terme et long terme différents), à cause de l'usure à l'usage de l'outil de brochage : la façon de concevoir devait être revue car les optima étaient décalés à cause de la prise en compte de ces incertitudes, un critère de fiabilité interférant avec un critère de performance.

Au final, il fut rappelé qu'il fallait naturellement tenir compte de l'ensemble des sources de variabilité si on voulait un résultat pertinent (matériaux, fabrication, montage, usage, mesures, etc.), et que la collecte de toutes les données nécessaires, signifiait/requerrait l'implémentation d'un jumeau numérique (objectif pour l'usine 4.0). En ce qui concerne la caractérisation de la variabilité et son exploitation, ce jumeau numérique permet d'avoir "la carte vitale" des pièces, en collectant 3 types de données : dimensions produit, variation temporelle des paramètres du procédé d'élaboration et le contexte (N° outillage, réglages sur machines, lot de fabrication, ...). Ceci sans oublier les points majeurs pour l'implémentation d'un jumeau numérique que sont l'accessibilité de la donnée et la cybersécurité.

In fine, la stratégie retenue par SAFRAN Hélicoptères ne vise pas à fournir la donnée uniquement à des analystes (qui interviendront sur des traitements pointus, comme l'apprentissage machine), mais à tous les acteurs concernés, en formant largement la population à l'utilisation des outils de base de la collecte et de l'analyse statistique des données. Un dernier exemple fut ainsi présenté, qui concernait la fabrication de pieds de sapin des pales de turbine, fabrication complexe qui implique le réglage de 35 côtes, 6 volants étant utilisés par l'opérateur – doté d'une longue et solide expérience – pour ajuster les meules : une intelligence artificielle a été développée – en l'espace de moins de deux ans – pour que la machine puisse avec succès, après une phase d'apprentissage supervisée par l'opérateur, effectuer elle-même les réglages. Résultats : un temps significatif gagné sur la production des pales, des taux de rebuts divisés par 3,

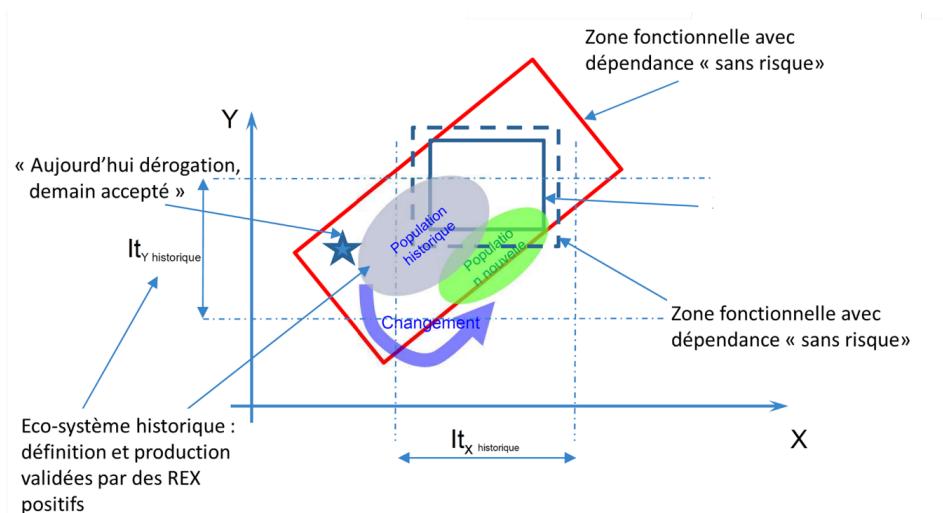


Fig.3 Prise en compte de la variabilité en conception chez SAFRAN Hélicoptères

et un opérateur qui dirige désormais 2 machines au lieu d'une.

En termes de conclusion finale, conception et fabrication sont intrinsèquement liés : d'une part, il est nécessaire de bien connaître les moyens de production pour réussir à concevoir des pièces fonctionnelles et, d'autre part, la prise en compte de la variabilité et des interdépendances modifie les façons de concevoir. Finalement, les progrès attendus dans le domaine de la prise en compte des incertitudes en conception sont liés aux moyens mathématiques, aux puissances de calculs, mais également à la montée en compétence collective dans les data-science et les statistiques.

Le quatrième exposé de la journée était intitulé « Quantification et gestion des incertitudes dans une perspective de co-design », préparé et réalisé par P. Wojtowicz et G. Capasso (AIRBUS SAS). L'objectif de cette intervention était de présenter une méthode semi-probabiliste de gestion des incertitudes qui peut être utilisée pour résoudre des problèmes pratiques à l'interface entre le monde du calcul, le monde de la conception et le monde de la production. Cette méthode évite les approches « *cas-pire* », qui sont trop conservatrices, tout en évitant aux ingénieurs de manipuler des probabilités, ceci en utilisant des équivalents déterministes.

En guise d'introduction, il fut rappelé qu'il y a des milliers de pièces à assembler pour constituer une structure avion. Cela se fait en plusieurs étapes : mise en position, maintien, perçage, contre-perçage... Le processus est fastidieux, long et coûteux, mais il permet de bien ajuster les fixations dans leurs logements et d'assurer une bonne tenue de l'assemblage avec une faible variabilité. L'objectif affiché était ici de réduire le nombre d'étapes : plus de perçage et contre-perçage en phase d'assemblage (« *as-is* » : les trous sont parfaitement coaxiaux). Les trous seraient réalisés lors de la phase de fabrication de la pièce, selon une méthode dénommée « *hole-to-hole* » (H2H), ce qui signifie que

les trous seront potentiellement désalignés (variabilité des positions), et que les diamètres des trous devront être plus larges que le diamètre nominal pour pouvoir absorber la variabilité des désalignements des trous. Ceci implique également que la répartition des efforts entre les différentes liaisons sera également non uniforme. Avec cette approche H2H, la stratégie du pire cas n'est pas réaliste et trop pénalisante, d'autant que son application à l'ensemble de l'avion voudrait qu'on empile/tienne compte de toutes les incertitudes (sur les charges, les matériaux, la température, etc.) : une approche probabiliste rigoureuse, qui permettra de réduire le conservatisme, est donc proposée.

Dans une première partie de l'exposé, fut présenté l'effet de la variabilité géométrique sur la performance structurale. Dans le cadre général, il faut ajouter le désalignement géométrique aux quantiles de propriétés matériau et d'incertitudes charges. Le risque de sous-conservatisme est à quantifier, sans traiter le cas pire en empilant des scénarios à faible probabilité. L'approche semi probabiliste s'appuie sur des ratios entre la valeur obtenue par l'approche probabiliste et la valeur obtenue par la méthode déterministe. Cela permet de prendre des marges pour garantir la satisfaction des critères probabilistes, pour cela (1) des facteurs caractérisant la dégradation des performances sont définis et utilisés pour calculer la probabilité de dépassement. Ils interviennent généralement dans les formules, et (2) les variables intrinsèques (géométrie) sont traitées. Deux cas de gestion des incertitudes peuvent alors être étudiés, selon qu'il s'agit de déterminer :

- les facteurs d'abattement sur les admissibles pour obtenir le bon niveau de probabilité. Cela correspond mathématiquement à de l'estimation de quantile, et industriellement à une analyse des surcharges,
- le facteur d'abattement et la variabilité des entrées pour obtenir le bon niveau de probabilité. Cela correspond mathématiquement à de l'optimisation basée sur la fiabilité, et industriellement à une optimisation des tolérances.

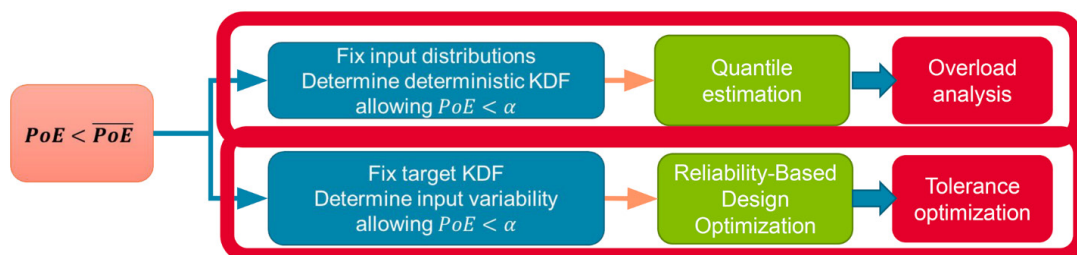


Fig.4 Deux cas fondamentaux de gestion des incertitudes en conception des structures

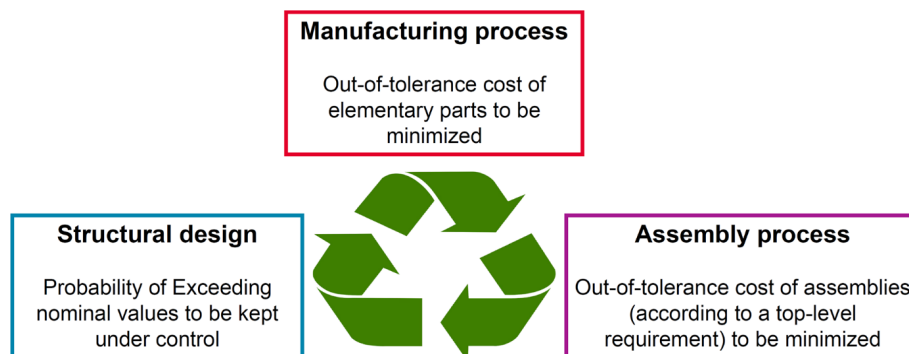


Fig.5 Cadre statistique proposé pour la co-conception (AIRBUS)

Dans le premier cas, on aboutit à une réduction significative de la surcharge en particulier pour des assemblages plus complexes. Dans le deuxième cas, cela adresse la conception structurelle (pas de dépassement des valeurs admissibles), le processus de fabrication (réduire le coût lié aux pièces en dehors des tolérances), et le processus d'assemblage (réduire le coût lié aux assemblages en dehors des tolérances). On formule finalement un problème bi-objectif avec une fonction coût liée à la fabrication et une autre à l'assemblage, et on tient compte d'une contrainte sur la probabilité de dépassement (fiabilité). L'intervalle de tolérance pour la fabrication et l'assemblage ont des effets antagonistes, le bon compromis est donc à trouver. Des catalogues peuvent être fournis qui ne sont pas des solutions parfaites mais satisfont les contraintes d'optimisation de type « *stress* » en termes semi-probabilistes.

Les résultats d'optimisation donnent la possibilité de mettre-à-jour des bornes de troncature pour les désalignements, pour mise-à-jour par l'équipe de tolérancement. Ces bornes garantissent la satisfaction des contraintes mécaniques « *stress* ». Des abaques permettent de trouver le bon compromis en termes de dégradation de la performance structurale, et de décroissance des exigences qualité pour les pièces élémentaires ou l'assemblage.

En termes de conclusions et de perspectives, un cadre semi-probabiliste a été mis en place pour étudier la résistance statique des structures d'avions. Une approche de co-design impliquant la fabrication, le tolérancement et la charge (*stress*) a été démontrée : elle se concrétise par des abaques de facteurs de surcharge proposés et des catalogues de solutions de tolérance satisfaisant les exigences mécaniques « *stress* ». Un dictionnaire à 2 niveaux a été créé, soit associant le

niveau de la variabilité géométrique à la performance structurale (facteur de surcharge), ou le niveau de la performance structurale à la variabilité géométrique (optimisation des contraintes de tolérance). Les perspectives pour l'application H2H sont nombreuses : extension à la fatigue, extension aux composites, généralisation de coupons à des vraies structures aéronautiques, industrialisation du processus. Au-delà du H2H, il s'agit d'appliquer l'approche à d'autres problèmes de conception, d'introduire la notion de conception probabiliste et de supporter la roadmap de déploiement de la gestion des incertitudes.

La cinquième intervention de la journée, intitulée « Suivi de navigabilité en service pour la planification de maintenances », fut effectuée par Mickaël Duval (DGA TA). Elle visait à présenter comment la DGA en tant qu'opérateur d'armement introduit progressivement la science des données comme outil pour effectuer le suivi de flotte et adapter ses programmes de maintenance à la véritable utilisation des avions. Les objectifs des travaux de la DGA, qui soutient les avions des forces armées, sont d'améliorer la connaissance opérationnelle, d'augmenter la sécurité des vols, d'améliorer la gestion des flottes, d'optimiser le pas de maintenance et d'augmenter la durée de vie des appareils.

Pour le suivi en fatigue, l'aviation militaire a des spécificités par rapport à l'aviation civile, les profils de mission étant très différents : il y a de nombreux paramètres avec sources de dispersion, notamment des charges externes dues aux emports, et l'utilisation opérationnelle est différente. Illustration en fut donnée sur le cas des hélicoptères, les objectifs restant les mêmes mais venant s'y ajouter la complexité liée aux charges dynamiques hautes fréquences des machines tournantes. L'intelligence artificielle offre

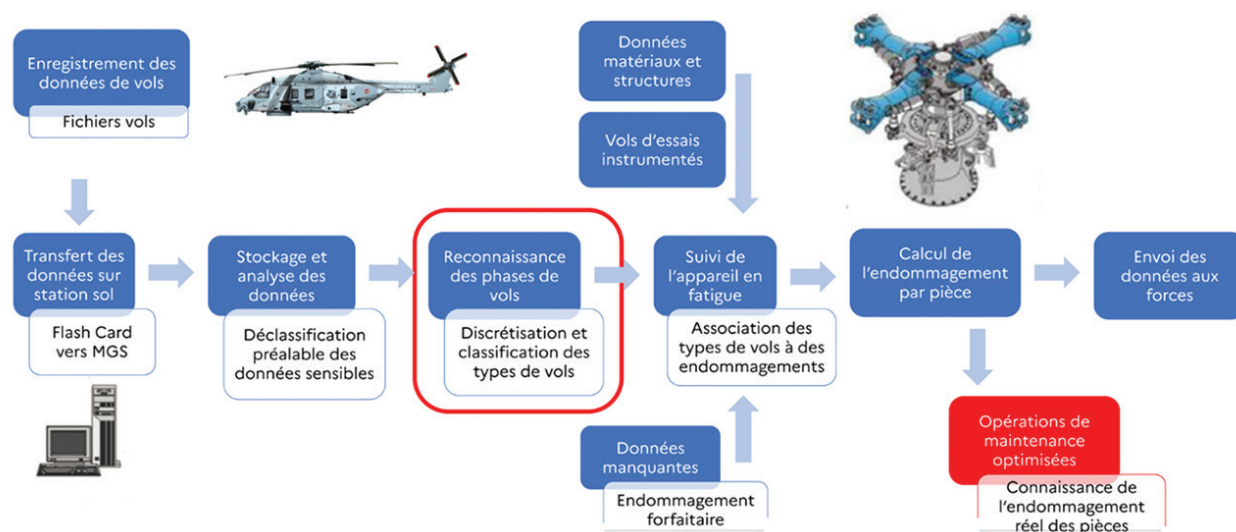


Fig.6 Principe du suivi en fatigue des hélicoptères (DGA TA)

potentiellement les moyens d'atteindre les objectifs évoqués, en introduisant une utilisation systématique des données de vol permettant de faire un suivi individualisé de chaque appareil.

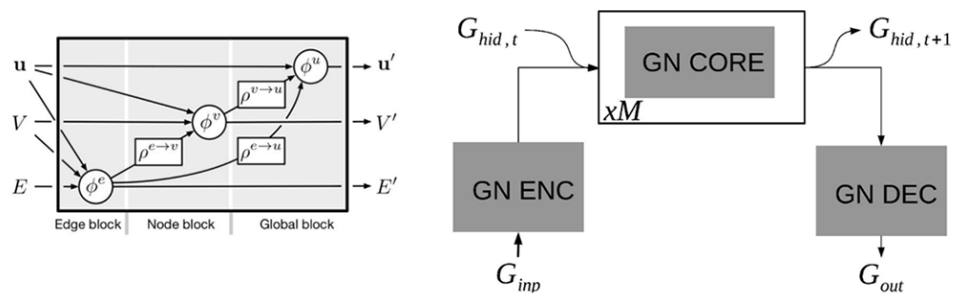
L'IA est ainsi utilisée pour classifier les différentes phases de vol et associer à chacune d'elle un endommagement forfaitaire calculé au préalable. Une technique associant un réseau de neurones auto-encodeur (*Variational Auto-Encoder*) avec des k-voisins (k-NN) permet d'implémenter un classifieur. L'intérêt de cette approche est de permettre de suppléer aux données manquantes, voire de prédire un endommagement en l'absence de modèles ce qui est le cas sur certains avions anciens (par exemple les Canadair). Une des perspectives des travaux présentés concerne la reconstruction des spectres locaux de contrainte et déformation pour un calcul plus précis des endommagements.

La sixième intervention de la journée fut donnée par Michele Colombo (AIRBUS SAS), elle était intitulée « Prédiction de l'aéroélasticité dynamique de la rafale d'un HALE utilisant un réseau de neurones à graphe ». Les travaux rapportés en de très nombreuses occasions témoignent de l'intérêt considérable de la communauté charges/structures aérospatiales pour la construction de modèles de substitution (*Multidisciplinary Design Optimization, Multi-Physics Computations*) s'appuyant la plupart du temps sur des approches basées uniquement sur les données. Le cadre général de la présentation fut celui d'une utilisation plus marginale de l'IA pour l'apprentissage des systèmes dynamiques, reposant sur des méthodes

s'appuyant en plus des données, sur la connaissance des lois physiques gouvernant leurs réponses. Parmi les méthodes d'apprentissage, les réseaux de neurones à graphe (GNN) ont pour but de décrire des systèmes composés de blocs en relation les uns avec les autres, et des exemples d'applications des GNN pour l'apprentissage de systèmes dynamiques ont été récemment publiés (*DeepMind*, 2018, systèmes de masses-ressorts ; Lemos, 2022, systèmes orbitaux). L'objectif des travaux présentés était d'appliquer la technique à l'apprentissage d'un modèle aéroélastique avion, avec à terme l'idée de l'utiliser pour prendre en compte les mesures et établir le lien avec toutes les mesures faites en vol.

Dans un réseau de neurones à graphe, l'information est encapsulée sous forme de variables associées au bord, au noeud ou au contexte global (grandeurs v , E , U sur la figure 2). Organisé autour d'un encodeur, d'un cœur de traitement et d'un décodeur, le GNN permet de travailler sur un espace latent (espace de représentation plus pertinent que l'espace des variables initiales). Dans le cas présenté, les variables physiques du problème d'aéroélasticité furent attribuées comme suit aux variables d'entrée [Noeuds(V) : Positions de noeuds, vitesses, masses ; Bords(E) : Caractéristiques structurales ; Global(U) : états de l'avion et vent de rafale] et de sortie [Noeuds(V') : vitesses à $t+1$; Bords(E') : Charges à l'instant t ; Sorties(U') : dérivées] des graphes, autorisant une substitution rapide des charges de l'avion et de la dynamique de l'avion.

Chaque bloc contient un opérateur physique avec la possibilité d'une identification symbolique pour



- Graph to Graph transformation
- Encode - Process – Decode : Possibility to work on a Latent Space

Fig.7 Architecture des réseaux de neurones à graphes (AIRBUS)

découvrir la nature mathématique des interactions. Le code original (de la littérature) fut adapté aux spécificités aéroélastiques. Des agrégateurs linéaires furent ajoutés pour couvrir le besoin d'une capacité théorique à observer la forme de l'avion avant le calcul de charge. Une structure dédiée d'encodage, traitement, décodage fut développée. Des tests sur un modèle jouet, puis sur le cas-test de *Deep Mind* furent réalisés avec de meilleurs résultats et une bonne capacité de prédiction à long terme. Le travail fut ensuite porté sur un HALE (*High Altitude Long Endurance*) UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) : cas universitaire SHARPy HALE en rafale longitudinale (1-cos). Soixante simulations furent effectuées pour l'apprentissage et la validation du modèle, avec 20% de partitionnement apprentissage/test sur l'intervalle de temps. Des réseaux de neurones très simples de 128 neurones à 2 couches complètement connectés furent utilisés. Une approche de type « perte à long terme » (Long-term loss) fut retenue pour la régularisation de l'apprentissage, celui-ci ne nécessitant au final que 30 minutes, l'inférence étant presque immédiate. Les résultats de l'approximation furent jugés très bons.

En conclusion, le travail présenté concernait l'adaptation des GNN aux problèmes d'aéroélasticité,

adaptation ayant mené à de bons résultats sur le calcul de charges. Une approche de type « perte à long terme » étant implémentée pour la dynamique aéroélastique, les résultats furent obtenus en mode autorégressif, avec les limitations bien connues des réseaux multi-couches pris comme approximateurs universels. Les pistes d'amélioration envisagées concernent le remplacement du réseau de neurone par des neural ODE (*Ordinary Differential Equations*), le recours à de l'identification symbolique, et la confrontation à un système réel ou à d'autres simulations. Concernant les neural ODE, l'utilisation d'un solveur d'ODE sur une fonction modélisée avec un réseau de neurone est envisagée : l'adaptation des NODE au cas graphe avec une entrée contrôle a déjà été explorée avec un partage entre graphe statique et dynamique, et a donné de bons résultats préliminaires.

Le septième exposé de la journée, intitulé « Instrumentation virtuelle des avions clients par apprentissage », fut effectué par Stéphane Nachar (DASSAULT AVIATION). Son objectif était de présenter comment Dassault Aviation développe un système lui permettant de calculer l'endommagement réel des structures des avions clients sur la base de mesures opérationnelles. Depuis la journée 3AF de 2017 « Le Big Data et ses opportunités d'application dans le domaine de l'aérostruc-

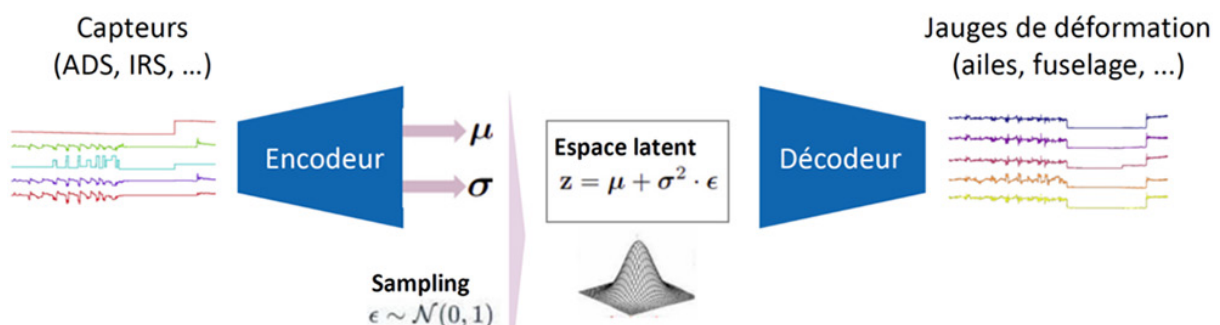


Fig.8 Architecture retenue par le gagnant du challenge Dassault-Aviation

SYNTHÈSE DE LA JOURNÉE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA COMMISSION 3AF STRUCTURES

ture des avions d'affaires", la science des données chez Dassault Aviation s'est déployée avec des applications multiples liées à une meilleure connaissance des statistiques d'utilisation, des critères de dimensionnement, de l'ambiance vibratoire, de l'impact climatique... Des collaborations furent initiées au travers de thèses sur l'ambiance vibratoire et le pronostic de pannes.

Le sujet de la présentation concernait l'instrumentation virtuelle des avions d'affaires, visant à s'affranchir de l'installation de jauges physiques sur avion, en les simulant grâce à des modèles d'apprentissage machine, les modèles étant entraînés sur des données d'essais sur avion équipé (perches, jauges...). Le but est ici de prédire, à partir des paramètres du vol mesurés par des capteurs fonctionnels (ADS, IRS, gouvernes...), les états de contrainte et de déformation en des points spécifiques d'intérêt.

Dans ce cadre, un challenge fut proposé par Dassault Aviation à plus de 35 candidats, challenge remporté par un consortium réunissant la start-up Aquila Data Enabler et l'ISAE SupMeca. Leur solution d'apprentissage reposait sur un schéma classique d'analyse : création des jeux de données, élimination des anomalies, régression, validation, déploiement du modèle. On utilisait des données temporelles et il était nécessaire de détecter les défaillances de capteurs. Un tableau de bord dynamique était utilisé pour la validation des experts métiers. L'architecture retenue s'appuyait sur un auto-encodeur variationnel (VAE). Un réseau de neurones fut utilisé car plus adapté à la dynamique multivariée des séries temporelles et à la détection des anomalies.

Sachant que le modèle allait mal généraliser sur les points qui contiendraient des anomalies, il convenait donc d'écarter ces points. Deux types de métriques furent utilisées pour la généralisation : erreur de reconstruction et vraisemblance des vecteurs latents. En effet, il est possible de distinguer les anomalies par des visualisations 2D (projection par composante principale ou t-SNE) : les anomalies apparaissant comme des clusters éloignés dans l'espace latent. Par ailleurs, une quantification de l'incertitude des prédictions à l'aide d'une régression de quantile, est possible, ce qui permet de donner des intervalles de confiance sur la prédiction. Finalement, un tableau de bord permettait d'apprécier la qualité des résultats : les erreurs, suivant différentes métriques, présentées par vol. Les résultats s'avérèrent très bons et souvent meilleurs que les résultats des modèles physiques. En

plus de la prédiction, le modèle pouvait aussi être utilisé pour détecter les anomalies (ou points d'étonnement) à partir d'un score de normalité, ce score s'appuyant sur la probabilité de reconstruction dans l'espace latent. On pouvait aussi analyser la corrélation entre différentes familles de capteurs.

En résumé, un modèle adapté à la prévision mais aussi à la détection d'anomalies a été développé. Il permet de prédire les cycles de déformation de l'appareil, associés à des intervalles de confiance. L'analyse de l'espace latent peut amener une forme d'explicabilité supplémentaire. Le modèle est adapté pour de l'hybridation avec la physique (travaux en cours sur les ODE-RNN). L'inférence est instantanée et il y a un faible temps d'apprentissage. Aquila propose des cadres généraux, qui aident à la construction de ces modèles.

En termes de conclusions et perspectives, les prédictions furent obtenues avec une précision jugée suffisante. La prochaine étape s'intéressera au calcul de l'endommagement par les outils de simulation classiques. D'autres cas d'usage sont envisageables pour les capteurs virtuels : amélioration de la surveillance des vols d'ouverture de domaine, détection d'anomalies sur la chaîne de mesure ou d'acquisition, détection de signes avant-coureur de panne sur les systèmes. Peuvent également être envisagées comme perspectives, l'hybridation entre modèles physiques et modèles appris sur les données, ou encore l'apprentissage frugal appliqué à la génération de modèles de turbulence, à la CAO générative...

La huitième et avant-dernière présentation de la journée était intitulée « Conception de la structure d'une automobile par simulation 3D, apport de la data science », par Yves Tourbier (RENAULT). Le but de l'exposé était d'expliquer comment Renault utilise la science des données pour construire des modèles les plus frugaux possibles pour mener ses études d'optimisation de conception en crash d'automobile avec un minimum d'analyses. Les travaux présentés relevaient de l'optimisation numérique et de la réduction des modèles exploitant la science des données. Ils ont été mis au point et testés principalement en crash mais aussi en acoustique, combustion et aérodynamique véhicule.

Une contrainte imposée à l'exercice d'optimisation des projets véhicules est qu'il doit utiliser le même modèle qu'en simulation (conception, validation) : on peut utiliser un modèle simplifié pour chercher

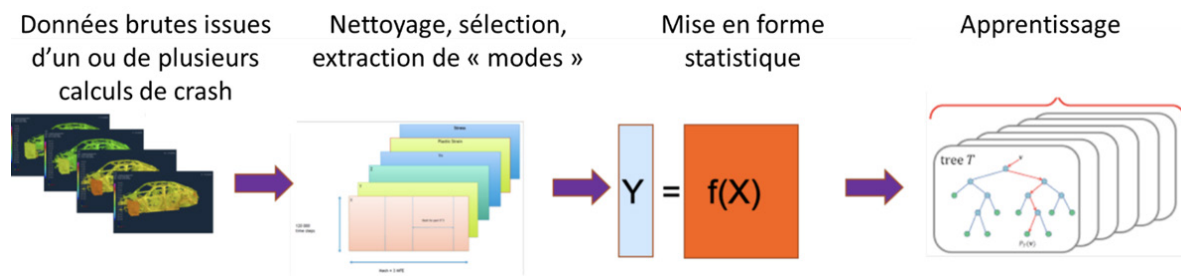


Fig.9 Principe de la méthode ReCUR employée chez RENAULT

la solution, mais il faudra converger ou vérifier tout au moins avec le modèle complet que les résultats recherchés sont atteints. Les paramètres à considérer sont les épaisseurs, matériaux des pièces, formes, le nombre et la position des points de soudure, la présence/absence de renforts : on en compte plusieurs dizaines pour chaque cas d'étude. Pour traiter ses problèmes d'optimisation, RENAULT utilise la méthode des plans d'expériences, avec un coût en nombre de simulations 3D de 3 à 10 fois le nombre de paramètres, et des durées d'études de 2 à 4 semaines. Les méthodes plus automatiques testées, comme EGO (*Efficient Global Optimization*) donnent des coûts de 10 à 20 simulations par paramètre, ce qui est trop lourd : d'où la recherche d'une nouvelle méthode d'optimisation (où le nombre de calcul crash serait proche du nombre de paramètres de conception) qui permettrait de réduire le coût et le délai des études d'optimisation pour faire face à l'évolution des modèles (de plus en plus gros), de la demande en optimisation, et à l'élargissement des études en nombre de paramètres.

Quelques chiffres : un modèle de crash, c'est 6 à 10 millions d'éléments finis, 120.000 à 200.000 pas de temps, 20 observables par nœud (20 champs). On travaille en pratique sur 200 pas de temps et on restreint les champs à des points d'intérêt. Les pistes de recherche qui visent à réduire le coût individuel des calculs, à disposer d'un modèle réduit intrusif, à profiter des études passées (*transfer learning*) ou à utiliser des modèles multi-fidélités sont jugées difficiles. La méthode de Régression-CUR, un modèle réduit non intrusif profitant de la définition particulière des paramètres, a été privilégiée. Elle consiste d'abord à séparer les variables de temps et d'espace pour chaque champ, comme c'est généralement le cas des méthodes ROM (e.g. POD), mais *Régression-CUR* impose d'employer une méthode de réduction permettant de remonter aux paramètres de conception. Pour ce faire, la méthode EIM a été retenue car elle sélectionne des pas de temps et des nœuds du maillage, ce qui permet de remonter

aux paramètres de conception. Les techniques sont les mêmes que dans les méthodes ROM classiques : chaque champ M est décomposé par $M = CUR$ avec R matrice des modes temporels, C matrice des modes spatiaux et U la matrice des coefficients. Ces modes sont ensuite utilisés pour construire un problème de régression. Chaque mode ou couple de modes temps x espace correspond à une colonne dans la matrice de régression X . C'est la partie construction des caractéristiques ou « *features* ». La méthode « *Random Forest* » est ensuite utilisée pour prédire la réponse Y .

Le principe de construction des colonnes de X repose sur le mélange des paramètres d'optimisation et des paramètres de champs, en profitant du fait que les paramètres ont une définition globale (l'épaisseur d'une pièce) mais aussi locale (les nœuds du maillage de la pièce héritent de l'épaisseur de cette pièce). Les modes étant des sélections dans les champs, ils héritent aussi des valeurs des paramètres de conception. Ceci permet d'intégrer dans le modèle de régression à la fois la simulation par les paramètres de champs et l'optimisation par les paramètres de conception. On peut rajouter des paramètres supplémentaires qui ne sont pas liés à des nœuds du maillage comme des points de soudure. La notion de nœud permet de réduire le nombre de paramètres : on passe d'un ensemble de paramètres d'épaisseur des pièces à un seul paramètre d'épaisseur du nœud de maillage. Cependant il peut y avoir des discontinuités dans les prédictions car des nœuds proches peuvent appartenir à des pièces différentes.

Un exemple d'étude en choc arrière avec contrôle de critères sur le réservoir fut présenté. L'idée était de corriger des critères non satisfaits avec un minimum de pénalité de masse. NB : le calcul crash n'est pas parfaitement répétable (instabilités dans le calcul physique comme le flambement, ou purement numériques). Étaient utilisés deux modèles réduits, un pour le nominal (sur la moyenne), l'autre pour la dispersion.

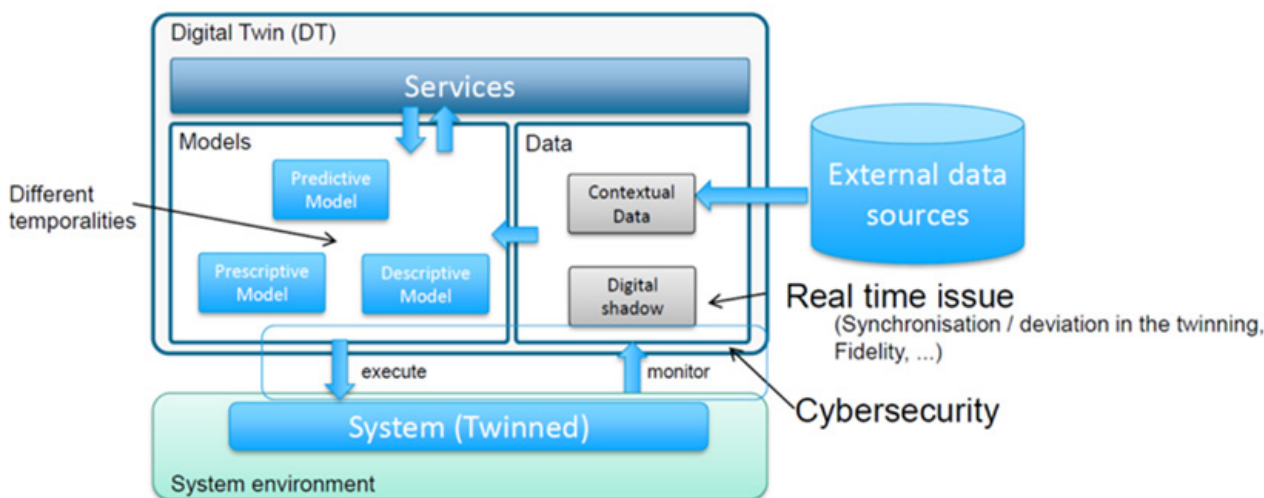


Fig.10 Schéma de principe du jumeau numérique (cf document IRT-SystemX/JNI3)

L'optimisation se faisait en deux étapes et une solution satisfaisante fut finalement obtenue, avec un ajout limité de 4kg.

En termes de conclusions et de perspectives, la méthode ReCUR présentée permet de réaliser des études industrielles à moindre coût. L'outil est en cours d'industrialisation par ESI (code PAMCRASH). La DEIM (*Empirical Interpolation Method*) ne s'avère finalement pas si adaptée à l'étude du crash (trop de modes). Une évolution vers les réseaux de neurone est envisagée, ainsi que l'intégration de contraintes supplémentaires, du type conservation de l'énergie totale (PINN), le tout associé à du *Transfert Learning* pour exploiter les résultats des études précédentes.

La dernière présentation de la journée, intitulée « Construire les premières étapes du jumeau numérique du moteur de demain », fut faite par Dohy Hong (SAFRAN Tech). L'objectif de l'exposé était de présenter ce qu'est le jumeau numérique pour SAFRAN Tech et quels en sont les principaux enjeux, sachant que l'objectif est d'abord de prédire le vieillissement des structures dans le temps, mais aussi d'améliorer le dimensionnement de celles-ci vis à vis des nouveaux enjeux écologiques.

Une vue d'ensemble de la problématique chez SAFRAN-Tech fut d'abord présentée : le jumeau numérique repose sur un modèle numérique, et peut se décliner selon 3 modes, par : (1) utilisation combinée d'apprentissage machine et de modèles physiques, (2) fusion de données mixant données expérimentales et de simulation, et mélange de modèles, ou (3) approches physiquement informées, tenant compte de la description géométrique, des équations mais aussi

du retour d'expérience pour intégrer des corrélations par exemple.

Sa mise en œuvre nécessite les 3 ingrédients que sont, le système réel (instrumenté), le modèle digital, et les données (issues de l'instrumentation et du modèle). Différents jumeaux numériques spécifiques sont construits selon le contexte (conception – production – opération) avec ces 3 ingrédients. Chez SAFRAN-TECH ces jumeaux numériques doivent être inter-opérables. Le jumeau numérique propose des services interagissant avec des données, et des modèles qui sont respectivement monitorés et exploités par le système réel jumelé. Les données sont traitées en temps réel et constituent l'ombre numérique (*digital shadow*) du produit. Il peut aussi y avoir un besoin de données externes au système.

Concrètement, Le problème est ici formalisé comme un filtre de Kalman (offrant un cadre naturel pour quantifier les incertitudes) avec deux lois : une loi de transition (comportement) et une loi de données (mesures). L'effort d'apprentissage porte sur la loi de transition et doit tirer parti en plus de l'intuition, des hypothèses, des connaissances physiques. Sont aussi utilisés des filtres à particules basés sur des échantillonnages pondérés.

La viabilité et l'opérationnalité du jumeau numérique reposent sur les 3 pré-requis/principes que sont : (1) la continuité digitale permettant d'assurer la traçabilité des données, tout au long du cycle de vie du produit, (2) la représentativité du clone numérique, qui reproduit le fonctionnement du système et en particulier son vieillissement, et (3) la capacité d'estimation

de l'état de santé, à partir des données historiques. C'est sur cet aspect que porte l'effort de SAFRAN.

Le premier défi technique auquel l'objet jumeau numérique est confronté – lorsque l'application visée (court terme) concerne la recherche de signatures (anomalies, ruptures, tendances), le diagnostic (solution de pannes en maintenance) ou le pronostic (planning de production) – concerne la grande diversité des sources de données qui sont à traiter, données d'opération (en enregistrement continu : QAR, équivalent boîte noire), données « *shop* », données « *bench* », ... Les modèles développés reposent sur des approches agnostiques, avec de l'apprentissage machine, mais peuvent utiliser des approches physiquement informées (PIML) pour cibler la recherche, en particulier la sélection des variables (*features*) et assurer un niveau d'interprétabilité. Le second défi est lié à la problématique la dégradation progressive de l'ensemble du système sur temps plus long, l'étude du vieillissement nécessitant des représentations en modèles réduits (température par exemple), au regard de la quantité d'informations à stocker/à interpréter. Enfin, les clones numériques individualisés représentent un défi pour la continuité numérique, et pour le recours à l'intelligence artificielle : il est en effet nécessaire de tirer parti de la donnée à tous les stades, conception (données test bench), réception et opérations (données de vol et de configuration), inspection, et maintenance.

Pour conclure, le jumeau numérique pour SAFRAN est un moyen de mieux identifier l'état d'un système et labelliser les données. Il permet des gains dans la simulation du système, la résolution de problème et la réduction des coûts de maintenance. Un sujet de réflexion important pour SAFRAN est également mentionné, qui concerne l'ouverture des données au-delà de l'enceinte de l'entreprise : comment partager un jumeau numérique avec des partenaires extérieurs ? Une coopération avec l'IRT SystemX est en cours pour le développement d'un cadre commun pour la construction de jumeaux numériques. Des travaux sur les jumeaux numériques de batteries ou de trains d'atterrissage sont également évoqués.

TABLE RONDE

(animée par Pierre Ladeveze, Francisco Chinesta et Stéphane Grihon) et **conclusion de la journée**

Preuve de l'actualité et de la vivacité du sujet, mention fut faite au cours de la journée de nombreux projets industriels et de recherche sur les sujets traités en séance (certains en collaboration internationale, comme avec Singapour, au sein de l'EUROCAE, de l'ASME, ...), du campus d'excellence CREATE, avec des centaines de chercheurs et de nombreux industriels impliqués, d'un Groupement de Recherche (GDR) créé en Janvier 2023 pour travailler sur la simulation augmentée par la donnée et l'apprentissage automatique (GAIA), etc. Avec une audience de près de 80 participants, répartis entre les sites parisiens de SAFRAN-Tech et toulousain d'AIRBUS-SAS, de très nombreuses questions générales ou techniques purent être posées, dans la foulée des exposés ou lors de la table ronde qui clôtura la journée, et les échanges – qu'il n'est pas possible de relater dans leur entièreté dans cette synthèse – allèrent bon train. Tous de s'accorder sur le fait que le champ très large des applications potentielles et la puissance de ces méthodes, repoussent les limites du « solutionnable », et ouvrent la voie au traitement de nouvelles problématiques, qui vont à leur tour amener de nouveaux concepteurs et chercheurs à challenger leurs connaissances, ainsi que les capacités technologiques émergentes les plus puissantes. Des approfondissements thématiques furent à ce titre suggérés, par exemple sur les sujets suivants : (1) jumeau numérique, maturité, verrous, unicité ou diversité, (2) gestion de l'incertain, statut sur l'implémentation industrielle, difficultés et solutions, (3) sûreté des modèles basés sur la donnée et certification. Ce qui donnera lieu nous l'espérons à de futurs échanges entre participants, de façons plus spécifiques.

REMERCIEMENTS

3AF tient à remercier de nouveau les orateurs qui – en partageant leur expertise - ont permis la tenue de cette journée scientifique et technique, ainsi que les organisateurs SAFRAN-TECH et AIRBUS-SAS, qui ont accueilli les participants dans leurs locaux. ■

LE PROGRAMME SCAF : ENJEUX ET PERSPECTIVES

Par **Philippe Charruyer**, csai@3af.fr - Lettre 3AF - Contribution CSAI - Rédacteurs : **Maurice Desmoulière**, **Bertrand de Montluc**, **Henry de Roquefeuil**, **Philippe Muller-Feuga**, **Claude Roche**, **Philippe Charruyer**

La Commission Stratégie et Affaires Internationales développe une réflexion stratégique et conduit des analyses sur des sujets à forts enjeux dans les domaines de l'aéronautique, du spatial, de la défense et de la sécurité, en France, en Europe et dans le monde. C'est un lieu privilégié de rencontre et d'échange entre partenaires, experts techniques et scientifiques et personnalités reconnues qui nourrissent les analyses.



SCAF ©Usine Nouvelle

INTRODUCTION

Le traité d'Aix-la-Chapelle du 21 janvier 2019 annonçait des actions courageuses et ambitieuses donnant l'espoir d'une confiance franco-allemande réaffirmée pour la coopération en matière d'armement. A cet égard le projet SCAF constituait un des six projets capacitaires et opérationnels d'envergure inégale. Le SCAF, qui ambitionne une capacité de combat collaboratif, est également une étape majeure de la construction de l'Europe de la défense, confortée par la signature en 2017 d'un document capacitaire commun aux Armées française et allemande. Très vite, l'Espagne a été associée de plein droit au projet (juin 2019). Et plus récemment, la Belgique en tant qu'observateur.

La phase 1A du projet, consistant en la définition des démonstrateurs et la description des technologies impliquées, a été lancée en février 2020 pour une durée de 18 mois et un coût de 260 millions d'euros. Elle prenait place après une phase 0 qui consistait, pour un coût de 60 millions d'euros, à organiser ce gigantesque projet : structures étatique et industrielle, tâches à réaliser, répartition des travaux entre les industriels, et responsabilités revenant à chacun d'eux.

La phase 1B a été lancée officiellement le 1er décembre 2022 pour une durée de 3 ans et un coût de 3,6 milliards d'euros, assumé à parts égales par les trois pays. Les contrats correspondants ont été signés en mars 2023 ; ils concernent les sept piliers qui structurent le projet (chasseur de nouvelle génération, moteurs, effecteurs déportés, cloud de combat, capteurs, furtivité et cohérence d'ensemble). Les travaux correspondants, première partie de la phase dite « démonstrateurs », doivent permettre de choisir l'architecture la plus prometteuse du système de systèmes comportant la description des interfaces entre les différents systèmes et sous-systèmes et la définition des démonstrateurs qui seront réalisés dans la phase suivante. De plus, le développement des technologies doit permettre d'atteindre les niveaux 3 et 4 dans l'échelle TRL (niveaux de maturité technologique).

La phase 2, optionnelle et conditionnée entre autres par un accord entre industriels, devrait prendre la suite en 2025/2026 pour un coût de 4,5 milliards d'euros. Elle verra la définition de l'architecture système de systèmes présélectionnée pour le développement et la réalisation des démonstrateurs avec notamment pour objectif le vol du démonstrateur « *New Generation Fighter* » (NGF) en 2029.

PRÉLIMINAIRES

Alors que nous sommes entrés, non sans difficulté, en **phase 1B** du programme, deux constats doivent être faits par souci de réalisme.

- Le premier concerne les difficultés qui ont retardé d'environ deux ans le lancement de la **phase 1B** : bien que les désaccords industriels n'en soient pas les seules raisons, ce fut sans aucun doute la principale pierre d'achoppement. On mentionnera le principe du « *Best Athlete* » dont on sait la difficulté de mise en œuvre quand il doit respecter l'autre principe, celui du juste retour géographique. Plus difficiles à résoudre encore sont apparues les divergences entre la société Dassault et Airbus DS : Dassault, désignée comme le maître d'œuvre du **pilier « NGF »**, a affiché une position ferme qui lui apparaissait indispensable pour pouvoir assurer pleinement son rôle. Elle exige, notamment qu'en matière

de propriété intellectuelle, le principe des acquis « *foreground* » soit pleinement appliqué avec les conséquences que cela peut avoir dans la gestion des acquis en cours de la **phase 1B**.

- Le second constat concerne les conséquences sur le projet SCAF d'un changement profond de l'environnement international. Après le départ de Mme Merkel, chancelière au moment du traité d'Aix-la-Chapelle en 2019, M. Scholz, nouveau chancelier, se retrouve à la tête d'un gouvernement de coalition moins disposé à aller dans le sens d'une plus forte coopération franco-allemande. De plus, le déclenchement de la guerre en Ukraine a entraîné un renforcement immédiat des relations transatlantiques : pour le côté allemand, c'est notamment l'achat de l'avion F-35 américain ; et pour le côté français, il s'agit d'être, à l'avenir, un des meilleurs éléments de l'OTAN.

La première difficulté mentionnée ci-dessus n'est pas nouvelle. Elle apparaît dans toutes les coopérations depuis 60 ans, et ceci tout particulièrement avec l'Allemagne. On se contentera ici de dire qu'il faut « vivre avec », et surtout que sa prise en compte très en amont devrait permettre de limiter les pertes de temps au lancement de chacune des étapes du programme.

Pour la seconde difficulté, nous y revenons dans la suite du document.

UN ÉCLAIRAGE SUR LE MOYEN TERME DES OPÉRATIONS AÉRIENNES ET SON IMPACT SUR LE SCAF

Avant d'aller plus loin, il est utile d'analyser certaines orientations observées des deux côtés du Rhin et qui ont des conséquences lourdes sur le futur du programme SCAF. En ce qui concerne notamment les avions Eurofighter et Rafale, leurs évolutions sur le moyen/long terme sont un élément important dans la mesure où leur participation progressive au programme SCAF est envisagée. Leur capacité future doit être pesée en sachant que l'effecteur de nouvelle génération NGF a pour vocation d'être un avion de combat piloté de 6^{ème} génération ; sans oublier l'importance des commandes à l'exportation qui pèseront sur les évolutions à engager pour satisfaire les exigences des clients.

Les exigences/contraintes allemandes

L'Eurofighter devrait rester en service jusqu'en 2060 avec une ligne de production active au moins jusqu'en 2030. La tranche 4 (P4E, pour Phase 4 **Enhancement**) entrera en service en 2028/2030 avec des avions

équipés d'un radar à balayage électronique et des évolutions dans le système de management de mission, les fonctions navigation et contre-mesures.

Un 2^{ème} élément pouvant avoir un fort impact sur le projet SCAF est l'achat récent par l'Allemagne de l'avion F-35. L'objectif affiché est de conserver la capacité d'emport de la bombe nucléaire américaine rénovée dans le cadre des missions de l'Otan. Mais le F-35, avion de 5^{ème} génération, aura forcément d'autres missions qui lui seront dévolues sachant qu'une de ses principales caractéristiques est sa capacité de connectivité, capacité dont devra disposer pleinement l'effecteur NGF du SCAF. Le F-35 aura aussi vocation à participer au programme SCAF mais avec une capacité « d'influence » sur le développement du **pilier 4** « Cloud de combat » en raison de son avance sur le plan des « standards » applicables. L'exigence d'interopérabilité s'appliquera également sur les systèmes de renseignement, de communications et de conduite/commandement des opérations (C3I).

Les exigences/contraintes françaises

L'Armée de l'Air et de l'Espace (AAE) a reçu ses premiers Rafale au standard F4.1 en mars 2023. Cette nouvelle version de l'appareil permettra, entre autres, une avancée en matière de connectivité, d'emport et de discrétion, marquant son entrée dans le combat collaboratif. Les versions F4.2 et F4.3 du Rafale feront respectivement leur apparition en 2025 et 2027, en s'orientant progressivement vers la connectivité IP (Internet Protocol). L'ensemble des Rafale F4 évolueront tous vers le même standard pour une durée de vie allant au-delà de 2040. On voit l'intérêt et la richesse de ces évolutions pour une intégration progressive du Rafale dans le programme SCAF.

Il faut maintenant rappeler les deux exigences de la France au titre des éléments essentiels de son autonomie stratégique : la première, assurer le futur de la composante aéroportée de la dissuasion nucléaire et la capacité pour un certain nombre d'appareils d'être compatibles du futur Porte-Avions de Nouvelle Génération (PANG). Dans ce contexte, on évoque un Rafale standard F5 dont la définition est à l'étude : il aura notamment la capacité d'emporter le nouveau missile nucléaire hypersonique l'ASN4G, successeur de l'ASMPA. Cet appareil aurait aussi la capacité de contrôle de drones de diverses natures comme certains des « *remote carriers* » en cours d'étude dans le cadre du **pilier 3** du programme SCAF. Ce standard et ses évolutions, dont on imagine la mise en service à partir

de 2035, pourrait avoir une durée de vie allant au-delà de 2060.

Un dernier élément à mentionner, car il apparaît dans la LPM 2024-2030, est celui d'un drone de combat (*Unmanned Combat Air Systems/UCAS*). Il s'inscrit dans la suite du démonstrateur nEUROn qui avait donné lieu à une coopération européenne réussie incluant la Grèce, l'Italie, l'Espagne, la Suède et la Suisse sous responsabilité Dassault. Bien que hors projet SCAF à ce stade, c'est bien un effecteur qui pourrait ultérieurement en faire partie.

Question : comment se positionnera ce type de drone parmi les effecteurs du pilier 3, « *Remote carriers* », dans les architectures futures du projet SCAF ?

Les exigences/contraintes internationales

Le SCAF est une coopération entre l'Allemagne, l'Espagne et la France.

Deux projets lui font concurrence aujourd'hui :

- Le GCAP (*Global Combat Air Programme*) est un projet aux objectifs comparables mené sous la maîtrise d'œuvre du Royaume-Uni avec la participation de l'Italie et du Japon ; dans ce projet, le Tempest est l'équivalent du NGF dans le SCAF.
- Le NGAD (*Next Generation Air Dominance*) constitue le projet américain successeur du F-35.

La question se pose de savoir quel impact aura le F-35, qui sera en dotation dans plusieurs pays européens dont l'Allemagne et l'Italie, sur les projets SCAF ou GCAP ? Dans tous les cas, le combat collaboratif impliquera, au niveau des C3I, un niveau d'interopérabilité, qui reste à définir, entre les systèmes.

DIFFICULTÉS À SURMONTER POUR PRÉPARER LA PHASE 2 DU PROJET SCAF, ET LA SUITE ?

1. L'émergence d'une culture opérationnelle commune franco-allemande pour la coopération des forces armées des deux pays, but affiché du Traité d'Aix-la-Chapelle (2019) est une nécessité qu'il faut admettre si l'on veut faire perdurer le programme SCAF sur le long terme ; l'Espagne doit y prendre toute sa place.

Maintenir à travers ce projet la possibilité de préserver une industrie de l'armement européenne indépendante est primordial pour ne pas devenir exagérément dépendant des firmes américaines et conserver ainsi un minimum d'autonomie européenne.

2. À l'évidence, l'élan impulsé initialement s'est

sérieusement affadi malgré les faux-semblants : il est inquiétant de voir l'Allemagne et la Pologne se lancer dans des achats massifs de systèmes d'armes hors Europe : les F-35 et les systèmes Patriot et Arrow 3 pour l'Allemagne, les chars Abrams et K2, le système Patriot, des obusiers et des lance-roquettes terrestres et bientôt le F-35 pour la Pologne. Ce sont des exemples significatifs d'un comportement qui privilégie le court terme opérationnel au détriment du maintien d'une l'industrie européenne de l'armement (BITD-E) et d'une autonomie stratégique européenne qui passe par une autonomie de décision, et cela pour de très longues années.

Deux questions viennent à l'esprit

Question 1 : Vers quoi peut-on orienter les projets pour renforcer la BITD européenne ? Les achats massifs de matériels étrangers, notamment américains et israéliens, par des pays européens fragilisent-ils les ambitions de l'UE dans le développement de cette BITD européenne ?

Question 2 : pourra-t-on lancer la **phase 2** du programme SCAF avec une confiance réciproque suffisante sur le long terme ? Il va falloir faire preuve d'un sérieux courage politique et d'une volonté à toute épreuve pour préparer dès à présent le lancement de la prochaine phase.

L'ébauche calendaire figurant en annexe donne une idée très simplifiée des nombreux défis à affronter pour satisfaire les rendez-vous affichés aujourd'hui. L'équation française à multiples variables paraît la plus difficile à satisfaire. Il convient de converger au plus vite sur des intérêts communs sur les plans politique, opérationnel et industriel afin d'harmoniser les calendriers et les budgets sur le long terme, et ceci indépendamment des rendez-vous électoraux.

3. L'ambition du SCAF au-delà d'un nouvel avion de combat est de développer un système collaboratif complet pour les opérations aériennes interagissant avec l'ensemble des systèmes existants et futurs au sein des armées. Le traitement des données, leur sécurisation et la capacité à communiquer en temps réel constituent des enjeux de souveraineté militaire auxquels la mise en place du « *cloud de combat* » spécifique du SCAF doit répondre.

Les partenaires du SCAF devront imposer des standards d'interopérabilité européens, compatibles avec les standards Otan, pour crédibiliser une offre souveraine face aux systèmes concurrents, afin d'assurer notre autonomie de décision et notre capacité à l'exportation. Sont concernés l'ensemble des moyens

collaboratifs (C3I, cloud, communications, données...).

Face aux États-Unis qui utilisent leur position dominante dans les standards industriels otaniens, notamment dans le domaine de la connectivité, pour rendre leurs systèmes attractifs au plus grand nombre, les moyens qui devront être développés pour l'interopérabilité du SCAF seront-ils financés par les trois pays participant au projet ou par des budgets otaniens ? L'Allemagne in fine ne préférera-t-elle pas la solution de facilité offerte par l'Otan ?

Le véritable défi va donc de fait être le développement d'un cloud de combat européen et des moyens collaboratifs autonomes et interopérables avec une flotte aérienne comportant au minimum le Rafale et l'*Eurofighter*, mais aussi le F-35 et son successeur. L'infrastructure cloud doit idéalement être limitée à l'accès des pays concernés par le programme, mais avoir suffisamment de flexibilité pour permettre des « fenêtres » de partage par l'intermédiaire d'un réseau comportant des droits d'accès clairement identifiés. Le défi politique et technique est très exigeant.

En parallèle, la France prévoit de développer une capacité de cloud de combat national accompagnant l'évolution du Rafale avant que le NGF ne prenne progressivement la relève.

L'Allemagne a la charge de développer le cloud de combat du SCAF (**pilier 4**). Elle doit également assurer la mise en service de l'avion F-35 dans ses forces qui utilisera, à l'instar de la France, un cloud de combat

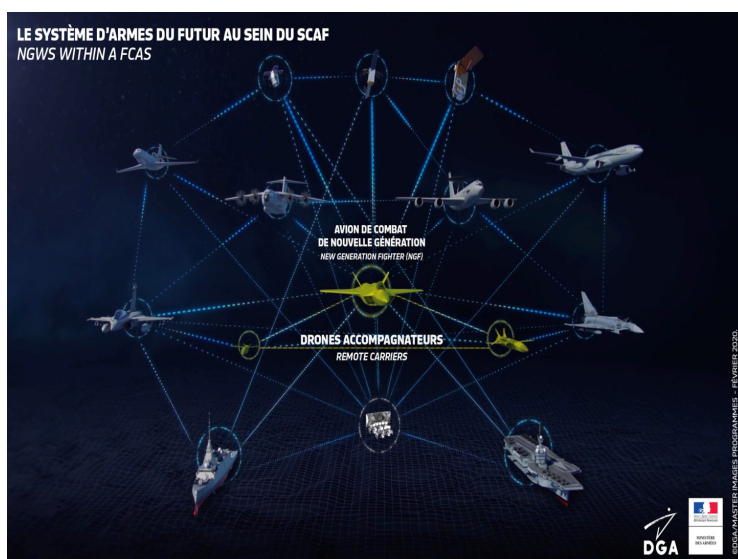
national. Les architectures qui seront proposées à la fin de la phase en cours conduiront à des choix particulièrement importants pour la France dont on connaît les impératifs nationaux mais aussi pour l'Allemagne.

4. Enfin, concernant les technologies impliquées dans la plupart des **piliers** du programme SCAF, il conviendra de vérifier que les crédits sont suffisants pour atteindre les niveaux 3 et 4 sur l'échelle TRL à la fin de la **phase 1B pour autoriser la phase 2**. Ces technologies devront être suffisamment matures 5 à 6 ans plus tard, à la fin de la phase 2, pour autoriser le lancement des développements.

Pour les piliers 1 NGF, 2 motorisation du NGF, 3 remote carriers, 4 cloud de combat et 6 capteurs, l'attention va se porter sur les projets de démonstrateurs de la **phase 2**. Ils vont constituer une première étape destinée à démontrer la maturité des nouvelles technologies et leur capacité à fonctionner ensemble pour assurer des capacités opérationnelles sans précédents.

CONCLUSION

Le SCAF sera le système de combat aérien de la seconde moitié du 21ème siècle. Il rassemblera autour d'un nouvel avion de combat polyvalent adapté aux menaces aériennes de 2040 et au-delà, des moyens de combat travaillant en réseaux, exploitant l'IA, incluant des drones de différents types. Le début de mise en service est prévu en 2040. Il est à ce jour le plus ambitieux projet militaire européen.



SCAF ©DGA

LE PROGRAMME SCAF : ENJEUX ET PERSPECTIVES

La **phase 1B** est lancée.

Afin d'assurer la pérennité du projet, et à travers lui la puissance industrielle et numérique de l'UE, ne ménagons pas nos efforts pour rendre possible le lancement de la **phase 2** en améliorant :

- La confiance entre les partenaires, politiques et industriels, avec une ambition européenne renouvelée, commune et solide.
- L'implication de toutes les parties prenantes et à tous les niveaux afin d'éviter tout retard ou blocage dans la mise en évidence d'un problème politique, opérationnel, industriel ou éthique qui pourrait mettre en péril le programme.
- Une convergence sur le long terme afin de rendre possible la démarche incrémentale adoptée. Tous les acteurs sont concernés : les États, leurs États-

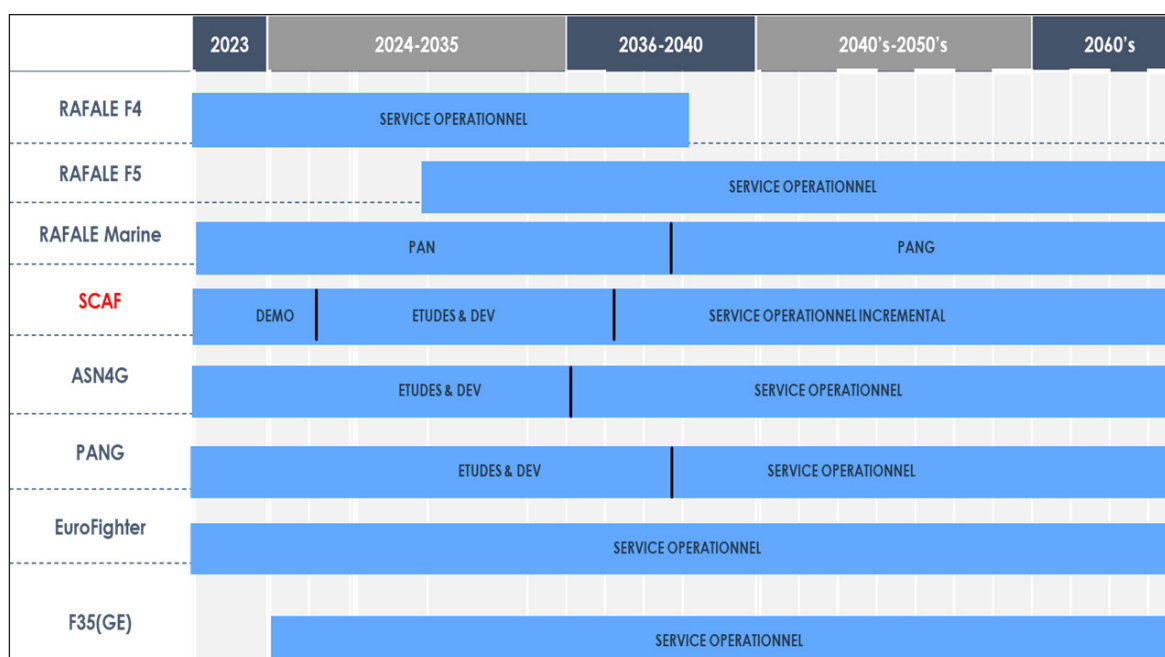
Majors et services, les industriels quant à leur capacité à réaliser les travaux qui leur ont été confiés.

- Le réalisme des budgets et des calendriers face à des choix qu'il va falloir assumer en coopération pour éviter les désillusions.

En bref, l'autonomie et l'indépendance européenne doivent s'appuyer i) sur une puissance économique réaliste, ii) sur une défense propre qui reste à crédibiliser face aux conséquences du conflit russo-ukrainien et enfin iii) la maîtrise des systèmes de renseignement utiles à la décision.

Il serait courageux de s'emparer de ces questions à l'approche des prochaines élections européennes.

PLANNING



GLOSSAIRE DES ACRONYMES

- ASMP/A : Air Sol Moyenne Portée/Amélioré
- ASN4G : Air-Sol Nucléaire de 4ème Génération
- BITD-E : Base Industrielle de Technologie de Défense- Européenne
- C3I : Command Control Communications and Intelligence
- GCAP : Global Combat Air Programme
- IA : Intelligence Artificielle
- IP : Internet Protocole
- NGAD : Next Generation Air Dominace
- NGF : New Generation Fighter
- OTAN : Organisation du Traité d'Atlantique Nord
- PANG : porte-Avions de Nouvelle Génération
- RC : Remote Carriers
- RPAS : Remotely Piloted Air System
- SCAF : Système de Combat Aérien du Futur
- UCAS : Unmanned Combat Air System
- UE : Union Européenne

ARCHITECTURE PROPULSIVE PERMETTANT UNE EXPLORATION DU MILIEU INTERSTELLAIRE

par **Dominique Valentian**, 3AF, **Christophe Koppel**, KopooS Consulting Ind., **Roland Lehoucq**, CEA, Saclay, **Olivier Grasset**, Laboratoire de Planétologie et Géosciences, Nantes, **Elisa Cliquet Moreno**, CNES, **Nicolas Bérend**, 3AF, **Cédric Dupont**, 3AF, **Clément Dudal**, CNES Toulouse, **Frédéric Marchandise**, 3AF.

INTRODUCTION

En 2021, l'Université John Hopkins a proposé une exploration du milieu interstellaire mettant en œuvre le lanceur SLS et une assistance gravitationnelle propulsée autour de Jupiter. (Lettre 3 AF N° 50, Les Projets De Sondes « Mille Unités Astronomiques », Dominique Valentian).

Le V_{∞} pourrait atteindre 14 à 16 km/s pour une charge utile de 478 kg (sonde *New Horizons*) Cette mission présente un problème majeur : le coût du SLS. Peut-on effectuer une mission analogue en utilisant des moyens abordables et disponibles en Europe ? La commission « Transport Spatial » de la 3AF a constitué un groupe de travail de spécialistes de la propulsion spatiale, d'astrophysiciens du CEA IRFU et du Laboratoire de Planétologie et Géosciences, ainsi que de spécialistes du CNES (propulsion et télécommunications à longue distance).

Ce groupe de travail a abordé les différents aspects du problème : analyse de mission, puissance de bord (panneaux solaires et RTG), communications à très longue distance, l'ensemble devant être embarqué sur un ou deux lanceurs Ariane 6. Pour mettre la situation en perspective, 200 UA en 20 ans (Unités Astronomiques, de l'ordre de 1 jour-lumière), correspond à une vitesse moyenne de 48 km/s.

DISCUSSION

L'analyse de mission a montré, comme l'article original de l'Université John Hopkins, l'intérêt de l'assistance gravitationnelle propulsée sur Jupiter.

Cela permet de bénéficier de l'effet Oberth en plus de l'assistance gravitationnelle proprement dite. Différentes options de propulsion ont été envisagées comme la propulsion solide, la propulsion biergols stockable ou la propulsion cryotechnique avec réfrigération active des ergols.

La combinaison finalement retenue inclut un

étage cryotechnique sous coiffe avec un propulseur expander de 40 kN permettant d'injecter le module supérieur à une vitesse assurant une vitesse (15050 m/s) proche de la vitesse de libération du système solaire. Le deuxième étage solaire-électrique met en œuvre huit propulseurs PPS@5000 et fournit un ΔV proche de 7 km/s.

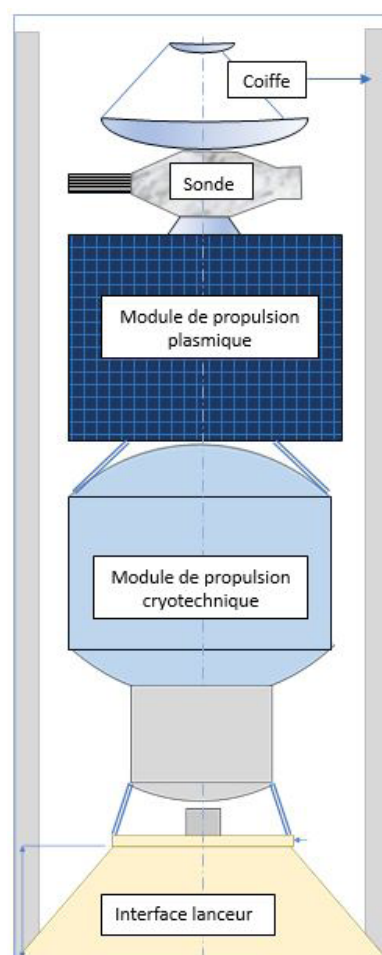


Figure 1 : Modules de propulsion sous la coiffe d'Ariane 6.

Pour la première phase de la mission, il est apparu que l'on pouvait se passer d'un lancement double d'Ariane 6 avec rendez-vous en orbite basse. Une recherche d'optimum (lancement LEO, sub-GTO, GTO combiné à un étage orbital cryotechnique sous coiffe) a montré que la charge utile maximale était

obtenue en combinant un lancement sub-GTO et un étage cryotechnique H9.

L'étage de propulsion électrique solaire fait appel à deux panneaux solaires (100 W/kg) à cellules amincies puissance totale 46 kW à 1 UA (36 kW pour les propulseurs) et une poussée initiale de 2,07 N. La masse de xénon atteint 900kg.

La solution choisie pour l'assistance gravitationnelle propulsée sur Jupiter inclut un module de propulsion « dual-mode » hydrazine / NTO fournissant un incrément de vitesse de 2,757 km/s. Jupiter est atteint en 330 jours (2 ans au minimum pour « Jupiter direct »).

Avec une masse sèche de sonde + module de propulsion de 324 kg (270 kg hors module) et une charge utile scientifique de 50 kg, la vitesse V_{∞} atteint 38,05 km/s, soit 200 UA en 25,6 ans. La sonde atteindrait 400 UA en 50 ans.

Les transmissions font appel à une antenne parabolique de 3 m de diamètre et à un codage avancé permettant d'optimiser le débit pour une puissance d'émetteur donnée. Le débit à 200 UA peut paraître faible (1,2 bit/s, soit 8 heures pour transmettre un message de 4,32 kOctets avec une puissance RF de 12 W) mais il est supérieur à celui fourni par la sonde Voyager.

Une transmission laser permettrait théoriquement un débit 4 à 5 fois plus élevé, mais n'a jamais été essayé à une telle distance et contraindrait à utiliser une stabilisation 3 axes, (ce qui peut poser des problèmes de fiabilité au bout de 50 ans) alors que la transmission radio peut indifféremment fonctionner en mode spinné ou en stabilisation 3 axes (pour l'imagerie optique).

La puissance électrique est fournie par un RTG type Next Gen. Mod 2 (version améliorée de celui embarqué sur *New Horizons*) fournissant 400 W électrique et 3600 W de dissipation thermique, une petite fraction servant en particulier à participer au contrôle thermique de la sonde.

CONCLUSION

L'analyse mission montre qu'il est possible d'injecter une petite sonde d'exploration du milieu interstellaire (d'une masse un peu supérieure à celle de Pioneer 11) en utilisant uniquement des moyens disponibles en Europe (à l'exception du RTG pour l'instant). Les moyens mis en œuvre ouvrent des horizons pour d'autres missions : l'étage de propulsion électrique permet d'injecter des missions lourdes vers Mars ou les planètes extérieures et l'étage cryotechnique sous coiffe permet d'injecter des masses très importantes vers la Lune.

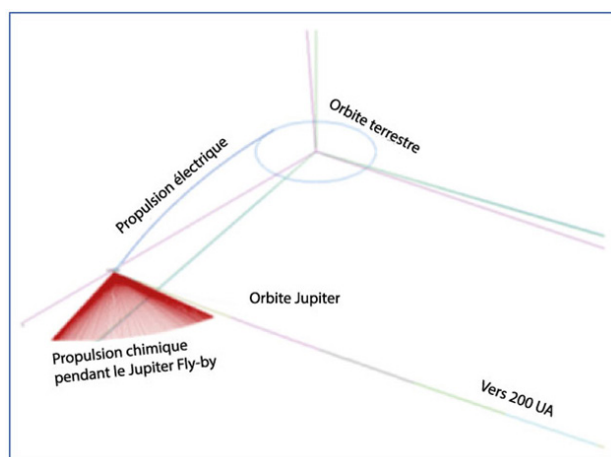


Figure 2 : Trajectoire de la sonde en 3 dimensions. Le cercle centré sur le soleil représente l'orbite de la Terre et le point anguleux la réaction de gravitation propulsée sur Jupiter.

VERS LE VOL INAUGURAL D'ARIANE 6

par Jean-Pierre Sanfourche

LES ESSAIS EFFECTUÉS AU COURS DU QUATRIÈME TRIMESTRE 2023

• 23 octobre : CTLO2.1

Avec l'essai combiné 2.1 (CTLO2.1), une chronologie de lancement complète a été répétée pour la troisième fois. L'essai, d'une durée supérieure à 30 heures, consistait à exécuter une chronologie de lancement complète, enrichie d'essais de qualification sur plusieurs fonctions du système de lancement, notamment : la ventilation des cavités, les interfaces avec la base de lancement et la caractérisation de l'environnement.

• 23 novembre : essais combinés, essai à feu long de l'étage principal avec moteur Vulcain 2.1. au CSG

L'essai à feu long (CTHF) a été réalisé avec le modèle d'essai d'Ariane 6 au CSG. C'était la répétition en vraie grandeur d'une chronologie complète de lancement, suivie de plus de 7 minutes de fonctionnement stabilisé couvrant l'ensemble des phases de vol de l'étage principal. Succès complet.

• 7 décembre 2023 : l'essai à chaud EFT-4 de l'étage supérieur à Lampoldshausen

Ce test a été effectué au centre aérospatial de la DLR (*German Aerospace Lab*) à Lampoldshausen (Allemagne). L'objectif de cet essai à chaud (HFT-4) était de reproduire un début normal de vol avec le moteur redémarrable Vinci et l'unité de puissance auxiliaire APU (*Auxiliary Power Unit*), puis d'évaluer la robustesse du dispositif en introduisant des conditions de plus en plus sévères.

Deux minutes après l'allumage du moteur Vinci et de l'APU, l'essai a été automatiquement avorté, des capteurs ayant détecté que certains paramètres étaient allés au-delà des seuils fixés. L'analyse de cet essai HFT-4 avorté est en cours, ses résultats sont attendus fin janvier.

• 15 décembre 2023 : le chargement combiné d'essai CTLO3 au CSG

Cette opération a permis de tester avec succès un compte à rebours de lancement dans des conditions dégradées, ceci afin de d'assurer sa robustesse. Il été exécuté avec une séquence de lancement et un compte à rebours final jusqu'à l'enlèvement du portique mobile

ainsi que le remplissage et la vidange de l'H2 liquide (-253 C) et de l'O2 liquide (- 183 C) des réservoirs des étages supérieur et central. Cet essai incluait des essais de qualification de plusieurs fonctions du système de lancement en cas d'avortement ainsi qu'un allumage de la chambre de poussée du moteur Vulcain 2.1.

C'était le cinquième des comptes à rebours effectués depuis juillet 2023, incluant le chargement d'ergols cryogéniques. Cette répétition a été un plein succès.



VA6_Essai CTLO3_Shelter ZL4_051

LES PROCHAINES ÉTAPES

• Fin janvier 2024 : tests de déconnexion du système de cryoconnexion

Une répétition de la coupure des bras d'alimentation supérieur et inférieur qui soutiennent l'ombilical qui alimente la fusée en hydrogène liquide et en oxygène sera effectuée.

• Mi-février : arrivée des premiers éléments de vol au CSG

Les éléments du premier vol d'Ariane 6 arriveront par le navire « Canopée » en Guyane.

• Le premier lancement d'Ariane 6

L'ESA, le CNES et ArianeGroup visent le vol inaugural d'Ariane 6 entre le 15 juin et le 31 juillet 2024 avec la version A62.

<https://www.ariane.group/fr/lancement-spatial/ariane-6/>

Résumé de synthèse rédigé par J.-P.S à partir des Rapports de mise à jour conjointe Ariane 6 (ESA, CNES et ArianeGroup). ■

ARIANE 6 : FAITS ET CHIFFRES CLÉS

D'après Wikipédia - https://fr.wikipedia.org/wiki/Ariane_6

ARIANE 6 - Lanceur spatial



Versions A62 et A64 d'Ariane 6



Essai à feu CTHF au CSG le 23/11/2023.
Crédits : © CNES/ESA/Arianespace-ArianeGroup/Optique
Vidéo CSG/JM Guillon, 2023

Données générales

Pays d'origine	22 États d'Europe
Constructeur	 ArianeGroup
Premier vol	2024
Statut	En développement
Hauteur	63 m
Diamètre	5,4 m
Masse au décollage	A62 : 530 t A64 : 860 t
Étage(s)	2
Poussée au décollage	A62 : 8 000 kN A64 : 15 000 kN
Base(s) de lancement	 Kourou

Charge utile

Orbite basse	A62 : 10,35 t A64 : 21,65 t
Orbite héliosynchrone	A62 : 6,45 t A64 : 14,9 t
Transfert géostationnaire (GTO)	A62 : 5 t A64 : 11,5 t

Motorisation

Ergols	Oxygène liquide / Hydrogène liquide
Propulseurs d'appoint	A62 : 2 x P120 (poussée unitaire 3 500 kN) A64 : 4 x P120 3 500 kN de poussée chacun
1 ^{er} étage	Vulcain 2.1 : 1 350 kN de poussée
2 ^e étage	Vinci : 180 kN de poussée

UN ESSAI À LIRE : L'ESPACE ET LE NEWSPACE AU SERVICE DU CLIMAT

UNE OPPORTUNITÉ UNIQUE POUR RELEVER
LES DÉFIS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Mustapha MEFTAH

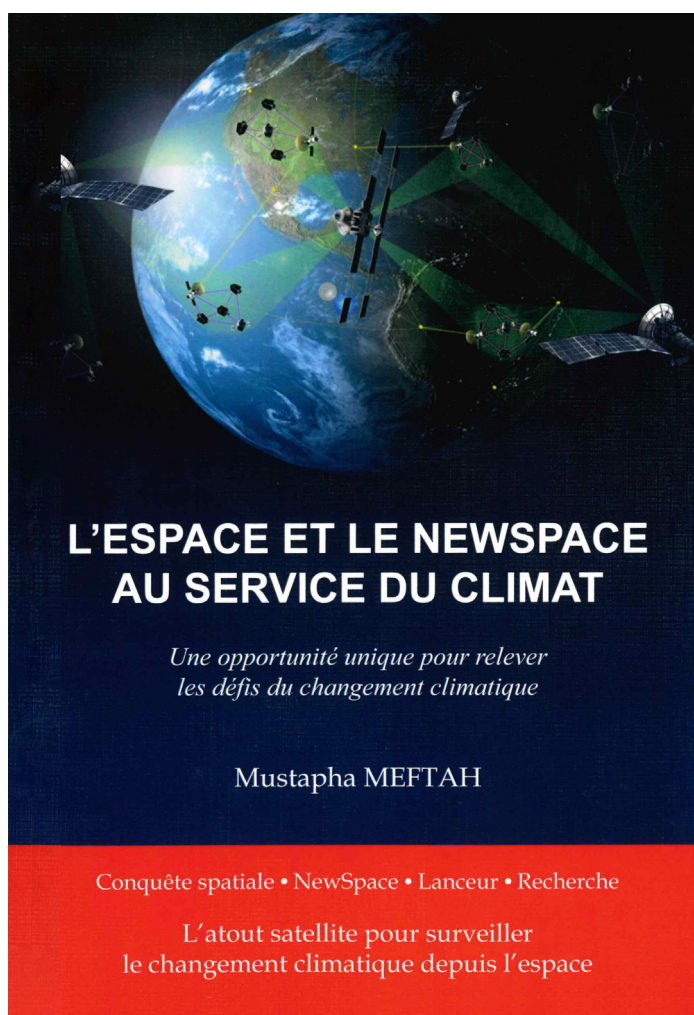


Image source : Pixabay
NewSpace Éditions – 2023
Paris

Ce livre montre que l'espace et les satellites sont des outils indispensables dans la bataille pour le climat. Il retrace les origines de la conquête spatiale, la course aux étoiles, l'émergence du NewSpace et la révolution « CubeSat ». Autant de sujets qui représentent une source d'inspiration pour imaginer l'espace de demain au chevet de la Terre.

L'auteur analyse la vision des milliardaires de l'espace (Richard Branson, Jeff Bezos et Elon Musk) et leur volonté d'exploiter et de coloniser l'espace. Devons-nous envisager, dès à présent, un exode spatial ? Cela peut avoir du sens, mais il y a d'autres priorités. Pourquoi est-il important de miser encore plus sur l'observation de la Terre depuis l'espace pour protéger notre planète ?

En quoi les acteurs du NewSpace peuvent apporter des solutions pour répondre aux besoins d'observation et de surveillance de la Terre ?

Mustapha Meftah est docteur en géosciences, astrophysicien, spécialiste des relations atmosphère-climat, ingénieur grandes écoles en aéronautique et spatial, et acteur du NewSpace. Il y a une habilitation à diriger des recherches en astronomie et astrophysique. Il donne des cours à l'université Paris-Saclay sur les enjeux du spatial et les nouvelles applications orientées NewSpace. C'est un passionné de la recherche et de la conquête spatiale. ■

2023 : UNE ANNÉE RICHE EN ACTUALITÉS SUR LES PAN

Rédaction collective 3AF SIGMA2 par **Luc Dini** avec la contribution de **Jean-Marc André - Philippe Chopin Joël Deschamps - Gérard Labaune - Geoffrey Metchersky - Stéphane Pfister - Emmanuel Plichon Raymond Piccoli - Beatriz Villaroel**

L'année 2023 a été riche en événements PAN (UAP en anglais pour *Unidentified Anomalous Phenomena*), phénomènes anormaux non identifiés, largement marquée par l'actualité américaine autour de l'AARO¹, mais aussi par des répercussions ailleurs dans le monde, via différentes conférences scientifiques ou auditions. Du côté français, les enquêtes continuent avec le GEIPAN, et les rencontres et conférences scientifiques se sont développées avec une participation très active de la CT 3AF SIGMA2 rappelée dans cet article. Pour autant, SIGMA2 a réalisé des communications nombreuses, organisé ou participé à des webinars et Congrès scientifiques, tout en continuant différentes études (analyse des données radar de cas d'observation sur le cas de Jersey, analyse de matériaux, effets Electromagnétiques sur l'électronique, observation optique), en participant également au collège des experts du GEIPAN avec lequel la coordination est étroite. Le contenu des travaux techniques de SIGMA2 en 2023 et en projet sera expliqué plus dans le détail dans un prochain article.

ACTUALITÉ AMÉRICAINE : LE PENTAGONE EN ACTION ET SOUS TENSION

ODNI ET AARO AU RAPPORT

Dès le début de 2023, le rapport N°2 de l'AARO, agence du Pentagone pour les l'étude des UAP, a rendu le deuxième rapport d'avancement ODNI (Office of Director of National Intelligence) sur les PAN. Attendu depuis octobre 2022 et paru le 12 janvier 2023, il confirmait le nombre croissant de cas de PAN recensés depuis 2004, qui passe de 144 en Juin 2021 à 510 en janvier 2023. Les 366 cas supplémentaires incluent 119 cas anciens, et 244 cas nouveaux sur la période 2021-2022.

Dans ce rapport, aucune caractéristique des PAN n'est commentée, l'accent étant mis sur les statistiques ce qui laisse le Congrès sur sa faim. Mais les méthodes d'analyse s'affinent (association de données radar et optique) pour préciser les caractéristiques des phénomènes, nécessité mise en avant par la NASA et l'AARO, sur laquelle la CT SIGMA2 s'était déjà exprimée dès son rapport de Juin 2021. 195 cas

(drones, ballons, clutter) seraient expliqués sur les 366 mais il en reste en 171, toujours inexpliqués, soit 50% des nouveaux cas enregistrés. Une partie d'entre eux montreraient des caractéristiques inhabituelles. Le taux d'observation à proximité de zones sensibles est en augmentation. L'AARO stipulait dans son rapport une demande de reporting systématique sur les cas de PAN survenant à proximité d'installations sensibles (centrales nucléaires, zones de stockage d'armes, SNLE,...). Des contacts avec les alliés (les 5 Eyes (USA-UK-Canada-Australie-Nlle Zélande)+2) sont aussi mentionnés par l'AARO.

L'ODNI publie un nouveau rapport le 17 octobre 2023 sur les PAN. Celui-ci banalise les zones d'observation du fait de la densité du trafic aérien, et met en évidence 291 cas supplémentaires sur 8 mois, dont une centaine est expliquée par l'aviation civile (vols civils), laissant 191 cas encore non expliqués (190 aériens, 1 maritime) dont 6 à 12 réputés très étranges (3 à 6%), totalement inexpliqués. L'AARO confirme encore que des mesures précises et croisées (radar et IR) doivent être utilisées avec un étalonnage soigneux pour tenter d'identifier les phénomènes. Aucune caractéristique hautement anormale suggérant une origine exogène « extra terrestre » n'est encore confirmée sans trouver davantage d'explication à leur origine.

Cependant des formes circulaires et ovoïdes ainsi que les signatures radar et optique intermittentes sont déjà décrites dressant un premier descriptif des phénomènes observés par les F18 de l'US Navy mais aussi par des drones de renseignement reaper (cf. Figure 1), informations partagées et confirmées par la suite à l'occasion de la conférence puis du rapport d'étude de la NASA. Aucun cas de rencontre rapprochée avec un PAN engendrant des atteintes physiologiques n'a été répertorié dans ces dernières observations.

1 - AARO : All Anomalous Resolution Office autrement dit le Bureau d'enquête et études des Anomalies tous milieux (air, espace, mer), coordonnant les actions avec tous les services des USA y compris les services de renseignement, l'aviation civile et la NASA.

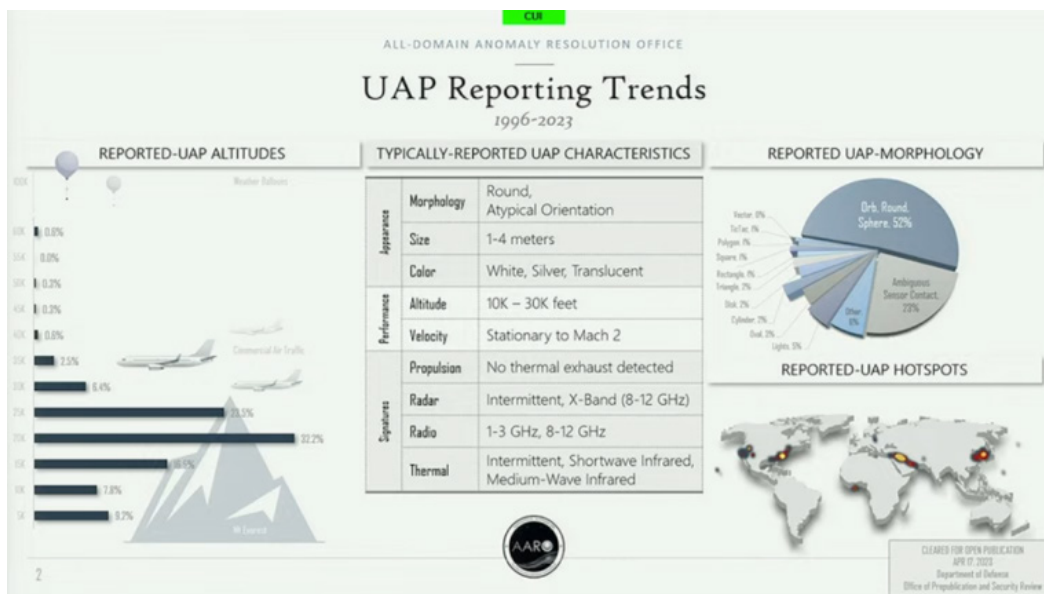


Figure 1 : résumé des caractéristiques des PAN observés par l'US Navy (2015). On note des émissions EM entre 1 et 3 GHz, également entre 8 et 12 GHz comme nous l'avions signalé dans le rapport SIGMA2 de 2021. La forme est ronde, taille qq m, vitesse du stationnaire à Mach 2 - aucune propulsion ou de sortie de gaz chauds - signature radar intermittente

Ce rapport ODNI d'octobre confirme enfin la mise en place d'un réseau de reporting d'observation par les pilotes **militaires**², vers l'AARO qui pourrait être étendu aux pilotes civils selon la NASA, grâce un réseau de communication (ARS) existant au sein de l'aviation civile. Un site web d'information de l'AARO est désormais ouvert au public, l'informant sur quelques rares cas de PAN. Il peut également recevoir des rapports d'observation sur les PAN de la part des citoyens **américains**³. Enfin, l'AARO voit sa mission non seulement porter sur l'observation des PAN et leur étude, mais aussi couvrir (en théorie et en pratique?) la récupération et l'analyse d'échantillons et d'épaves d'engins inconnus, sujet de débats stupéfiants au Congrès lors des auditions de Juillet 2023, notamment de David Grusch qui fait sensation avec ses déclarations sous serment sur l'existence de programmes secrets de récupération. L'AARO ne semble pourtant pas disposer de telles informations. Rappelons seulement que le rapport 3AF/ SIGMA2 de 2015 faisait déjà état d'un programme de veille des agences américaines nommé Moon Dust, utilisant le réseau des ambassades pour faire une veille et réunir des informations sur le signalement de rentrées atmosphériques et d'observation d'OVNI.

QUAND L'US AIR FORCE CHASSE LES PAN

Le mois de février 2023 a été marqué par une entrée en scène très spectaculaire de l'US Air Force, jusqu'à présent en apparence très absente du débat sur les PAN, avec quatre épisodes d'interceptions successifs en une semaine, lors d'une « chasse » aux ballons et drones menées par des F35, F22 et F15. Tout d'abord il s'agit d'une interception de ballon « espion chinois » évoluant et abattu au dessus du territoire US, puis contre trois objets inconnus, qui seront successivement abattus sur le territoire canadien, en Alaska et enfin sur le lac Huron. Aucune information ne filtrera sur la récupération d'éventuels débris.

Cet épisode de la chasse au ballon met en évidence la difficulté de coordination et de synchronisation opérationnelle entre l'AARO (organisme d'enquête, d'analyse et de synchronisation entre les services US) et l'USAF, qui elle, assure la sûreté de l'espace aérien nord américain et mène donc ses opérations aériennes de façon rapide sans réelle concertation avec l'AARO.

2 - Selon la directive GENADMIN Joint Staff J3 Washington DC 191452ZMAY23

3 - Ce n'est pas sans rappeler le site du GEIPAN qui existe depuis longtemps et présente des dossiers d'analyse de cas, dont certains sont très détaillés.

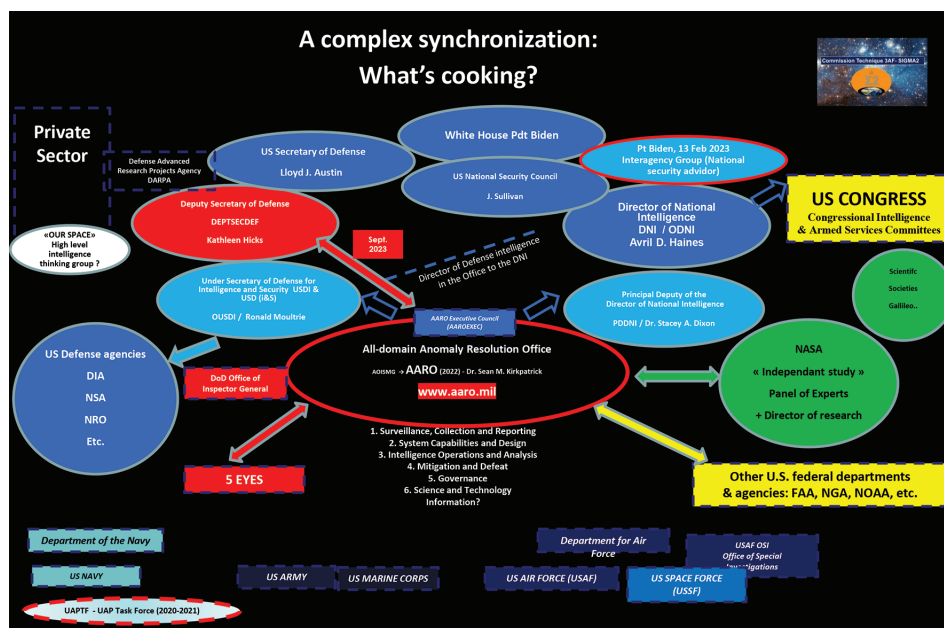


Figure 2 : Organisation de la structure gouvernementale américaine de recherche sur les PAN autour de l'AARO

Le conseil national de sécurité et la maison blanche ont d'ailleurs montré une certaine confusion dans leur communication vis-à-vis d'un scénario digne d'une mise en scène cinématographique du film *Independence Day* : 4 interceptions et tirs de missiles dans l'espace aérien américain en quelques jours sur des objets inconnus, qualifiés même d'origine possible-ment extraterrestre, selon le porte parole de la Maison Blanche, qui précisait que les alliés étaient informés heure après heure. Même le triste événement du 11 septembre n'avait pas déclenché de telles opérations aériennes, aussi médiatisées et défensives.

Ce constat conduit ainsi le Pentagone à revoir l'organisation, en affirmant d'une part le rôle de l'AARO placé sous les ordres directs de l'adjoint au secrétaire à la défense Kathleen Hicks, d'autre part la mise en place d'un superviseur au niveau du conseil national de sécurité (cf. figure 2) pour assurer le lien au plus haut niveau, c'est-à-dire la maison blanche.

NASA : EMBLÈME DE LA COMMUNAUTÉ SCIENTIFIQUE US

La NASA convoque une conférence le 31 mai 2023 et met en scène l'analyse de ses experts indépendants et de l'AARO. Ils montrent enfin deux cas de PAN dont la sphère dite de Mossoul (objet sphérique filmé par un drone reaper- cf. Figure 3). Un tableau de caractéristiques résumant les observations de PAN réalisées principalement par l'US Navy est également présenté

et établit une sorte de portrait-robot des PAN (cf. Figure 1).



Figures 3 : sphère de Mossoul à gauche (filmée par un drone reaper MQ-9) présentation lors de la conférence NASA 31/05/2023

La NASA publie enfin un rapport d'étude indépendante sur les UAP (*Unidentified Anomalous Phenomena*) le 14 septembre 2023. Elle se présente comme l'institution en charge des approches scientifiques, utilisant des méthodes rigoureuses d'étalonnage des moyens de mesures et d'observation qui seront nécessaires pour caractériser les PAN, avec des images renseignées par des métadonnées, notamment sur l'environnement...

La NASA se positionne donc comme un organisme civil de recherche scientifique, complémentaire de l'AARO auquel elle délègue un officier de liaison au sein du bureau du directeur national du renseignement. La NASA dispose de moyens spatiaux, de surveillance de l'environnement spatial, atmosphérique et maritime, mais aussi de satellites radar à antenne synthétique haute résolution et doppler. Selon elle, ces moyens

permettraient de vérifier et compléter les observations et détections réalisées par les systèmes du Pentagone et d'apporter des informations de nature environnementale telles que l'état de l'atmosphère etc... utilisables comme métadonnées. La NASA préconise aussi l'utilisation du *crowd sourcing* pour collecter des données grâce au public et l'utilisation des Smartphones.

LE CONGRÈS : ENQUÊTE - AUDITIONS - VOTE DE LA LOI BUDGÉTAIRE DE DÉFENSE (NDAA) 2024

Parallèlement le Congrès a mené des auditions de témoins sous serment en particulier le 26 juillet 2023. Celles-ci réunissaient deux pilotes de F18 (*Favor*, et *Graves*) témoins d'observation de PAN, ainsi qu'un ancien officier de renseignement, David Grusch. Les pilotes ont confirmé les observations d'OVNI l'un en 2004 (le fameux Tic tac), l'autre en 2014-2015 (observation sur la côte Est américaine d'objets de type drones capables de vol avec une longue autonomie à très basse vitesse et en haute altitude, sans dispositif de propulsion, sustentation et manoeuvre visible). Lors de l'audition du 26 juillet, M. David Grusch affirme sous serment, qu'il aurait appris que les USA ont récupéré des engins d'origine extra-terrestre et se sont livrés, avec l'aide de sociétés privées, à du *retro-engineering* (analyse et copie de la conception) ainsi qu'à des analyses d'entités biologiques extra-terrestres. D'autres anciens officiels du renseignement ont fait des affirmations similaires. Toutefois, le Congrès se heurte au mur des programmes spéciaux couverts par des règles de secret particulier interdisant aux témoins (dont David Grusch qui est soumis à des pressions et a déposé un dossier classifié à l'inspecteur général du renseignement) de révéler non seulement ce qu'ils savent, mais aussi l'existence même de tels projets, en dehors des enceintes habilitées. Le Congrès et la chambre des représentants ont tenté de faire voter via un soutien bipartisan, un article (projet Schumer) de la Loi de programmation militaire annuelle pour 2024 (NDAA : *National Defense Authorization Act*), pour lever le secret spécifique aux PAN, sauf justifications expresses du Pentagone, vers une commission spécialisée et habilitée du Congrès, à l'instar de celle créée pour l'affaire Kennedy. Mais au final, l'action de certains représentants républicains s'est opposée à la rédaction proposée, et un compromis a été trouvé pour un accord sur quatre articles spécifiques du sujet PAN, dont le N° 1687. Celui-ci **précise notamment l'interdiction de l'usage de fonds secrets aux fins de projets spéciaux sur les PAN** (études, recueil et analyse de débris, *retro-engineering* de PAN) en

l'absence de justifications des faits auprès d'une commission spéciale du Congrès. Par ailleurs, les archives nationales doivent recueillir les documents d'enquête sur les PAN, la question du secret est reconnue mais non traitée. Le Projet de loi a été signé par le Président Biden le 22 décembre 2023, qui, en se référant à l'article 1687, a précisé que le pouvoir exécutif américain veillerait à la fois à la préservation des secrets très sensibles pour la défense, tout en informant la commission du Congrès qui doit avoir accès aux informations sur les PAN. Les résistances au niveau du Pentagone, et notamment de la *Space Force* demeurent très vives. Malgré le compromis et l'affaiblissement des articles sur les PAN, il s'agit d'une reconnaissance officielle de l'existence du sujet PAN et potentiellement de programmes secret spéciaux sur ce sujet.

RENCONTRES SCIENTIFIQUES DE SIGMA2 AVEC DES SOCIÉTÉS SAVANTES

Comme indiqué dans la lettre 3AF de septembre 2023, SIGMA2 avait pris l'initiative de discussions avec le SCU (*Scientific Coalition for UAP Study*) sur les observables physiques des PAN lors d'une émission « Dossier OVNI » sur la chaîne TV du *Web ANEWS* Sécurité en mars 2022⁴. Après un accord signé avec le SCU en février 2023 sur des travaux communs relatifs à l'interaction électromagnétique avec les plasmas, SIGMA2 a proposé d'organiser un Webinar sur les observables optiques des PAN en Juin.

Ce Webinar scientifique fut un succès réunissant une vingtaine de scientifiques de différentes nationalités et expertises (cf. Figures 4 et 5) dans la salle du conseil de l'aéro-club de France ainsi qu'en liaison à distance. Il comprenait autour des experts de SIGMA2 des formations scientifiques internationales dont le SCU américain, SUAPS (*Society for UAP Studies*), ainsi que des membres du projet Galileo (projet international réunissant des scientifiques autour du Pr **Avi Loeb**⁵) mais aussi d'autres projets scientifiques,

4 - <https://www.anews-securite.fr/ovnis-les-phenomenes-aerospaciaux-non-identifies-sont-une-realite-eclairages/>

5 - Professeur et président de la chaire d'astronomie d'Harvard, connu pour son article sur l'astéroïde extra solaire *Umuamua*, et le projet scientifique Galileo, ainsi la réalisation de stations d'observation de PAN ainsi que pour le recueil de résidus d'astéroïdes provenant de l'extérieur du système solaire (*Expédition*).

comme le projet VASCO (Suède), Hesdallen Project, UAPx, etc....

Introduit par M. Alain Juillet, le Webinar fut articulé autour de sept exposés suivis d'un débat, avec le soutien de la chaîne Maybeplanet pour la plateforme de diffusion (exposés et débat sur le site YouTube de 3AF⁶), et d'UAP check (Michael Vaillant) pour les contacts avec SUAPS, rencontre ponctuée d'un dîner sympathique et d'un article encourageant de Baptiste Friscourt (correspondant de *The Debrief*).

3AF SIGMA2 a pour sa part fait un exposé sur l'approche des observables physiques et optiques. Le Dr Villarroel (astronome suédoise, correspondante de SIGMA2) a exposé ses travaux en cours sur le projet Vasco. Ce projet étudie la présence de points lumineux fixes sur des plaques photographiques réalisées par des télescopes, en juillet puis octobre 1952, notamment lors du ballet d'OVNI dénommé le « carrousel de Washington » observé dans le ciel de Washington. Or ces points fixes photographiés par les télescopes (cf. Figure 6) ne pouvaient être ni des satellites géostationnaires (inexistants à l'époque), ni des étoiles qui auraient d'ailleurs été reconnues et observées par la suite. Non seulement ces points lumineux ont totalement disparu mais le mystère reste entier depuis et la coïncidence avec les événements de Washington troublante.

UN WEBINAR AUX USA EN JUILLET

La participation de 3AF SIGMA2 aux colloques scientifiques s'est poursuivie en contribuant au Webinar organisé par le SCU le 30 juillet sur l'étude des PAN, par un exposé élargi à l'ensemble des observables physiques et intitulé *A Collaborative and Multi-Disciplinary Approach to Investigating Unidentified Aerial Phenomena (UAP⁸)*.



Figures 4 : Webinar 1 devant l'Aéroclub de France.
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 Vallée President, NOVALEM ANALYTICS, LLC – Flamme de Bonvoisin



Figure 5 : Webinar 1 en Salle du conseil.
De droite à gauche : Dr Beatriz Villarroel du projet Vasco, Université de Stockholm, Luc Dini, Pdt CT 3AF SIGMA2, Dr J. Vallée, CEO President, NOVALEM ANALYTICS, LLC et à distance Pr Kevin Knuth (université Albany), Pr Massimo Teodorani (Galileo project, Hessdallen project), Peter Realì (SCU), Pr Griffith (université d'Hawaï).

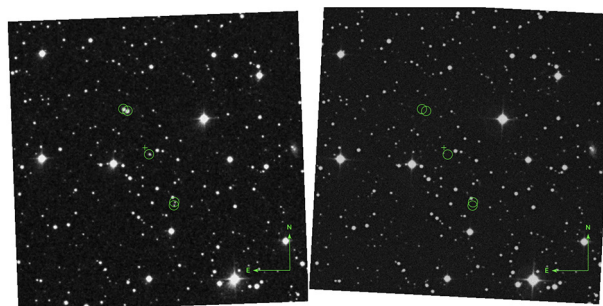


Figure 6 : Photos des plaques photos exposées par le Dr Beatriz Villarroel du projet Vasco, Université de Stockholm, WE du 27 juillet 1952 à gauche au moment des événements de Washington (3 points fixes étoiles?), à droite après les événements. Les points entourés d'un cercle vert ont disparu... ni étoiles, ni satellites géostationnaire qui n'existaient pas. De quoi s'agit-il ?

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

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

8 - <https://youtu.be/G81h4KEz2M?si=BQhQCFbGx2QDZ08f>

STRATÉGIE ET AFFAIRES INTERNATIONALES 2023 : UNE ANNÉE RICHE EN ACTUALITÉS SUR LES PAN

UNE TABLE RONDE INTERNATIONALE À 3AF ET UNE ÉMISSION SPÉCIALE DOSSIER OVNI SUR ANEWS EN NOVEMBRE 2023

3AF SIGMA2 organise le 3 novembre une table ronde à la 3AF, en salle du conseil de l'aéroclub de France (cf Figures 7 et 8) avec la participation de M. Christopher Mellon (ex adjoint au secrétaire à la défense américain pour le renseignement dans l'administration Obama), du Dr. Jacques Vallée (astronome, expert en informatique et IA...) de M. Alain Juillet (ancien haut responsable à l'intelligence économique auprès du 1^{er} Ministre Français) ainsi que de Pierre Bescond (ingénieur général de l'armement 2S, membre du groupe Cometa et de 3AF SIGMA2).

Baptiste Friscourt (correspondant de *The Debrief*) a participé également à distance à cette rencontre ainsi que Michael Vaillant (*UAP check*) présent à la 3AF dont quelques experts étaient aussi en ligne. Luc Dini a fait une brève introduction de 3AF et des travaux SIGMA2 suivie de l'intervention de Chris Mellon et de Jacques Vallée sur l'état du sujet PAN aux USA, et notamment du projet de loi NDAA sur la divulgation des données sur les PAN mais aussi sur les travaux initiaux du programme AAWSAP, programme caché sur les OVNI entre 2008 et 2010.

Il s'ensuivit un exposé des travaux SIGMA2 qui sont évoqués très brièvement ici et seront développés précisément dans un article à venir sur des sujets très différents. Il s'agit de l'analyse des données radar et visuelles sur le cas de PAN de Jersey avec le général de brigade aérienne (2S) Jean-Marc André, les études d'effets électromagnétiques des PAN sur l'électronique (Dr. Gérard Labaune, analyse du cas de Téhéran), les analyses d'échantillons de matériaux et de végétation (M. Geoffrey Metchersky) et l'observation optique des PAN, réflexion sur le réseau d'observation Fripon (météorites) et le réseau Farfadet (observation des sprites) avec le Dr Joël Deschamps et M. Raymond Piccoli (Directeur du laboratoire de recherche sur la foudre).

Ces exposés furent aussi l'occasion pour M. Chris Mellon de constater le niveau d'expertise scientifique de la CT SIGMA2 dans des domaines très divers et de nous interroger sur notre analyse des émissions électromagnétiques des PAN relatées par la NASA et l'AAARO lors de la conférence NASA du 31 mai 2023 (cf Figure 1). Comme nous l'avions déjà expliqué dans nos exposés et le rapport SIGMA2 de 2021, des questions

multiples se posent sur la nature des émissions électromagnétiques intermittentes constatées par certains moyens d'écoute électronique, sans oublier les signatures radar et IR elles-mêmes parfois très intenses ou au contraire presque furtives indépendamment de la vitesse. Le caractère isotrope ou directif de ces émissions fut aussi évoqué selon qu'il s'agit d'une réponse radar des PAN ou de leur émission électromagnétique propre (ou les deux à la fois comme par exemple dans le cas du RB47 en 1957), pouvant être liées à la propulsion, à l'émission de plasmas pulsés voire à des armes micro-ondes (cf le cas de Téhéran en 1976).

Cette rencontre fut suivie d'une table ronde organisée avec ANEWS Sécurité avec les mêmes protagonistes (cf Figures 9 et 10) et diffusée le 27 novembre 2023 dans la série d'émission Dossiers OVNI - 1ère partie⁹.



Figure 7 : Table ronde à 3AF le 3 novembre 2023. De droite à gauche : Dr Jacques Vallée, Jacques de Cordemoy (3AF SIGMA2), Chris Mellon, Alain Juillet, Pierre Bescond (3AF SIGMA2).



Figure 8 : Table ronde le 3 novembre 2023, Salons Aéroclub de France. De gauche à droite : Jacques de Cordemoy (3AF), Pierre Bescond (3AF), Dr Jacques Vallée, Geoffrey Metchersky (3AF), Chris Mellon, Luc Dini (3AF), Alain Juillet (consultant exécutif en intelligence économique et sécurité).

9 - <https://youtu.beCAkjoB3FCFA?si=mRqxR1GaJZg2M9Pv>



Figure 9 : Émission ANEWS Dossier OVNI 1ère partie, diffusée le 27 novembre avec Chris Mellon, Jacques Vallée, Alain Juillet et Pierre Bescond, Baptiste Friscourt et Chris Mellon.



Figure 10 : Émission ANEWS Dossier OVNI 1ère partie, diffusée le 27 novembre. Baptiste Friscourt (Correspondant The Debrief) par liaison VPN.



Figure 11 : Colloque Echo event 4 novembre 2023 au grand auditorium de la Sorbonne avec de gauche à droite : Vinnie Adams, Dr Jacques Vallée, Chris Mellon, Christian Van Heijst (pilote de ligne), Luc Dini.

LE COLLOQUE ECHO EVENT À LA SORBONNE LES 4 ET 5 NOVEMBRE 2023

Enfin, SIGMA2 a participé au colloque organisé à Paris à la Sorbonne les 4 et 5 novembre par Echo Event qui rassemblait notamment Christopher Mellon (ex. Adjoint au secrétaire à la défense américain pour le renseignement dans l'administration Obama), le Dr Jacques Vallée, le Pr Avi Loeb, Philippe Guillemant (chercheur au CNRS).

L'intervention de SIGMA2 (Luc Dini) a été marquée par un exposé de 30 mn sur les « PAN : approche physique », après le discours de Chris Mellon, puis par la participation à une table ronde (cf Figure 11) le 4 novembre. La conférence réunissait d'autres intervenants y compris le Colonel Jack Krine (ancien pilote de chasse, patron de la patrouille de France), mais aussi Jacques Vallée avec Dominique Filhol qui présentait son film Valensole attendu au printemps 2024. Elle s'est achevée le 5 novembre sur un vif succès (cf Figure 12).

Enfin, du côté américain un colloque a été organisé les 17 et 18 novembre par la foundation SOL nouvellement créée par le Dr Gary Nolan, professeur de biologie à l'université de Stanford. Celle-ci a réuni des scientifiques internationaux mais aussi de nombreuses personnalités sur le sujet UAP, dont Gary Nolan, Chris Mellon, Jacques Vallée mais aussi le Dr Villaroel.



Figure 12 : Colloque Echo event le 4 novembre 2023 au grand auditorium de la Sorbonne : photo de clôture avec tous les intervenants

L'HUMANITÉ, ENTRE ROYAUME ET TÉNÉBRES

par Jacques Arnould, Expert Éthique au Cnes



Ingénieur agronome, historien des sciences et théologien, Jacques Arnould est chargé des questions éthiques au Centre national d'études spatiales (CNES) depuis vingt ans. Il a récemment publié « L'espace n'est pas un dépotoir » (L'Harmattan, 2023).

« Les dinosaures se sont éteints parce qu'ils n'avaient pas de programme spatial. » Pour avoir parfois été attribué à Arthur C. Clarke, le mot de Larry Niven est devenu célèbre. Il sert parfois d'argument aux aficionados de la conquête de l'espace, qu'ils rêvent de colonies extraterrestres aux allures de réserve naturelle pour notre espèce ou d'arches pilotées par des Noé modernes qui voguent vers de lointains monts Ararat... En réalité, malgré ses allures de boutade ou d'injonction à préparer notre fuite vers les étoiles, ce mot véhicule d'abord une invitation à réfléchir à la modestie (la médiocrité, disaient les savants d'antan) de notre condition humaine. Ne nous laissons pas impressionner par le nom savant que nous nous sommes attribués, *Homo sapiens sapiens* : il fleurit bon les vitrines et les herbiers, les squelettes et les feuilles séchées des anciens muséums d'histoire naturelle, mais il menace de nous enfermer dans une tour d'ivoire bien fragile, à nous installer sur un piédestal de fumée. Plusieurs siècles d'investigations scientifiques nous expliquent que nous ne sommes pas des créatures angéliques malencontreusement tombées d'un ciel que nous pourrions rejoindre à force d'efforts spirituels ou astronautiques ; nous sommes les produits, peut-être même les sous-produits, de la rencontre un peu brutale entre notre planète et un morceau du ciel. Nous devons déjà remettre nos pendules à l'heure et nos pieds sur terre, avant de rêver de chevaucher les nuées du ciel, d'élaborer d'exorbitants programmes spatiaux.

Restons encore un instant sur cette histoire d'astéroïde et tentons de qualifier cette collision : elle fut dramatique pour les dinosaures qui régnaient sur Terre il y a soixante-cinq millions d'années, mais bénéfique pour les petits mammifères de l'époque (et leurs descendants) qui subissaient le joug biologique de ces « terribles serpents ». Et demandons-nous dans

quelles conditions s'est passé cet événement. Comme nous disons d'une traversée, d'une escapade ou d'une ascension, qu'elles ont pu être réalisées « par beau temps », dirons-nous que cette rencontre cosmique a eu lieu « par hasard » ou bien « par nécessité » ? À bien y réfléchir, une réponse claire et décisive ne s'impose pas. Les héritiers de Kepler et Newton ont raison de défendre la nécessité comme la condition de l'événement : la Terre et l'astéroïde tueur de dinosaures suivaient les lois de la mécanique céleste ; si les dinosaures avaient compté dans leur rang des astronomes, ils auraient pu prévoir que le ciel leur tomberait sur la tête. Ne faisons-nous pas de même lorsque nous traquons les NEO (pour *Near Earth Objects* ou géocroiseurs) et évaluons la distance et le moment où ils passeront à proximité de notre planète ? À cette vision déterministe, les lecteurs d'Antoine Cournot peuvent opposer la définition du hasard élaborée par le mathématicien : « Les événements amenés par la combinaison ou la rencontre d'autres événements qui appartiennent à des séries indépendantes les unes des autres, sont ce qu'on nomme des événements fortuits, ou des résultats du hasard. » À énumérer la liste des facteurs qui peuvent influencer le trajet d'un corps céleste, n'est-il pas raisonnable de considérer les trajets respectifs de la Terre et d'un géocroiseur comme indépendants l'un de l'autre et, par suite, la rencontre de ces deux corps comme advenant par hasard ?

La ronde des astres se déroule-t-elle par hasard ou par nécessité ? Si nous ne sommes pas capables de répondre à cette question, comment le serions-nous à propos de l'apparition de notre espèce à la surface de la Terre ? Je soupçonne que cette question hantera longtemps encore nos académies et nos laboratoires, nos agoras et nos bars des sciences. Si, à cet endroit, nos savoirs doivent avouer leur impuissance, reconnaître

leurs limites, en revanche, il y a belle lurette que notre pouvoir s'est emparé de cette question : l'odyssée humaine commence avec l'émergence d'une culture qui, tour à tour, s'associe aux processus propres à la nature ou s'y oppose. Demain ne se « fait » plus seulement par hasard ou par nécessité, mais aussi selon la volonté humaine ; demain n'est pas seulement un avenir (ce qui nous advient, ce qui nous tombe dessus), mais aussi un futur (ce que nous imaginons, élaborons, réalisons). Telle est l'essence, tel est le sens de l'odyssée humaine.

Nous ne l'ignorons pas : les plus sages parmi nous n'ont pas tardé à nous mettre en garde vis-à-vis des excès d'un tel projet. Le mythe d'Icare, bien connu des lecteurs de la Lettre 3AF, dénonce ainsi les dangers de l'*hubris*, de l'orgueil : gare à celui, à ceux qui prétendent dépasser des frontières qui leur sont interdites, maîtriser des pouvoirs qui les débordent. Le déterminisme physique, chimique, biologique peut se révéler le plus terrible des cerbères pour nous empêcher d'échapper à notre condition humaine.

Avant d'acquérir la maîtrise du vol, celle du feu a marqué une étape essentielle de notre histoire ; une étape elle aussi inscrite sur les tablettes des mythes avec, en tout premier lieu, celui de Prométhée. Qu'il provienne des dieux ou du ciel, qu'importe : le feu a été possédé, conservé, reproduit, autrement dit maîtrisé par *Homo erectus*, il y a 400 000 ans. Il est évidemment impossible de retracer en quelques lignes tout ce que cette maîtrise a apporté à l'humanité, pour le meilleur et pour le pire. Cette fois, c'est bien Arthur Clarke qui écrit, en évoquant le feu ultime, le feu nucléaire, l'énergie atomique : elle « peut nous emmener dans les étoiles, ou bien elle peut nous envoyer rejoindre les grands reptiles et les autres expériences malheureuses de la Nature. C'est à nous de choisir. »

Le défi pour notre espèce est bel et bien là : dans cet impératif qui nous est fait de choisir. Jacques Monod, au terme de son ouvrage précisément intitulé « *Le hasard et la nécessité* », ne mâche pas ses mots : « L'homme sait enfin qu'il est seul dans l'immensité indifférente de l'univers d'où il a émergé par hasard. Non plus que son destin, son devoir n'est écrit nulle part. À lui de choisir entre le Royaume et les ténèbres. »

Ce Royaume et ces ténèbres n'ont pas tardé à se présenter en face de nos ancêtres, même si leurs consciences paraissaient à peine plus éclairées que celles de leurs commensaux animaux. Pourtant, ils

ont peu à peu posé des actes singuliers qui montraient leur capacité à se projeter dans le futur, à le préparer et non pas seulement à le subir : en enterrant leurs morts, ils cherchaient à les préparer à un possible lendemain, à rendre ces lendemains plus accueillants. Ces mêmes ancêtres ont érigé en règle, en norme des attitudes jusqu'alors très rares dans le monde du vivant dont les moteurs de l'histoire, de la transformation, de l'évolution sont avant tout la contingence et la sélection : le souci du plus faible, du malade est venu s'opposer au *struggle for life*, à la lutte pour la vie et la survie décrite par Charles Darwin. Nous sommes les héritiers de vivants qui ont fait le choix d'un Royaume fondé sur l'altruisme et la compassion, en s'opposant à des tendances, des forces, des déterminismes naturels plus ténébreux.

Mais les ténèbres, nous le savons trop bien, ne nous ont pas pour autant quittés : notre conscience, aussi éclairée soit-elle par les sagesses les plus nobles, les plus hautes, n'en reste pas moins assombrie, appesantie par des postures, des instincts, des réflexes aux puissantes racines : les reptiles dont nous croyons avoir été débarrassés par un astéroïde se sont réfugiés dans les parties les plus primitives de notre cerveau. Nous pouvons donner raison à Marcellin Boule lorsqu'au début du XX^e siècle il interroge en des termes un brin provocateurs ses contemporains trop frileux de découvrir leurs racines préhistoriques : « N'est-il pas infiniment plus honorable de descendre d'un singe perfectionné que d'un ange déchu ? » Mais nous ne pouvons pas pour autant ignorer notre inclination vers certaines ténèbres héritées de l'ancêtre que nous avons en commun avec les singes...

Les siècles, les millénaires se sont succédé depuis le début de notre odyssée, de la maîtrise du feu jusqu'à la conquête de l'espace. Pouvons-nous pour autant estimer avoir échappé au sort des dinosaures ? Rien ne le prouve car, si nous possédons une cartographie chaque jour plus précise des corps célestes qui pourraient menacer dans l'avenir notre planète, nous devons bien admettre que nous ne possédons pas encore les moyens d'empêcher la catastrophe ou d'y échapper : ne nous empressons pas de croire notre avenir (notre ad-venir) dégagé de tout danger venu du ciel !

Notre futur (ces lendemains que nous aurons forgés) ne l'est pas davantage. Nos savoirs, nos savoir-faire nous ont permis de dépasser tant de limites imposées par la nature que nous en venons à rêver de posséder les attributs jusqu'alors réservés aux dieux : l'omniscience,

l'omniprésence, l'omnipotence. Nous les acquérons grâce à des instruments, des robots construits pour réaliser toutes les tâches que nous refusons d'accomplir ou sommes incapables d'accomplir. L'exploration de l'espace apparaît aujourd'hui comme l'un des terrains les plus propices pour développer la mise au point de ces machines dotées de pouvoirs artificiels presque exorbitants. Nous imaginons aussi acquérir, posséder nous-mêmes ces attributs divins en améliorant, en augmentant nos propres pouvoirs. Comme dans le projet transhumaniste.

Aux yeux de ses promoteurs, ce projet constitue le futur de l'humanité... en se débarrassant de tout ce qui en paraît des limites, des entraves, des imperfections, en particulier la maladie, le handicap et, en fin de compte, la mort. L'immortalité constitue en effet le

but ultime, le graal de la démarche transhumaniste. Il y aurait tant de choses à dire, à commenter à propos du transhumanisme... sans omettre son apparente naïveté. Sonne-t-il le glas de l'espèce humaine ? J'aurais tendance à le croire tant par l'allure qu'offre la créature transhumaine que par l'oubli apparent, le dédain peut-être, des humains qui le resteront. Le transhumanisme n'échappe pas, me semble-t-il, à la tentation de l'élitisme, un élitisme qui a toutes les allures du *struggle for life* décrit par Darwin et au pouvoir duquel notre espèce aurait été capable d'échapper, au moins partiellement. Devrions-nous réellement oublier notre victoire ancestrale sur la nature, oublier notre noble tâche d'être humain ? Jacques Monod avait donc raison : une fois encore, nous devons choisir entre le Royaume et les ténèbres. ■



L'ESPACE N'EST PAS UN DÉPOTOIR !

Jacques Arnould

Collection : Questions contemporaines

Édition : L'Harmattan

Un jour, les Terriens ont découvert que leurs fusées et leurs satellites laissaient des débris au-dessus de leurs têtes : ils avaient réussi à faire de l'espace un dépotoir. Avant que le cinéma ne s'en empare, les acteurs du spatial se sont inquiétés de ce phénomène, devenu prolifération. Et l'arrivée massive de nouveaux acteurs sur les orbites autour de la Terre ne fait qu'augmenter leur souci. Et si, à côté des solutions techniques et politiques qui s'imposent, nous nous demandons ce que dit cette pollution extraterrestre sur notre humanité...

<https://www.editions-harmattan.fr/index.asp>

COMBAT AÉROTERRESTRE 2035

2^{ÈME} ÉDITION

par Jean-François COUTRIS, Secrétaire Général de la 3AF

Combat Aéroterrestre 2035 : une deuxième édition qui confirme le grand succès de cette conférence.

Forts du succès de la première édition de 2021, 3AF et ses partenaires MBDA, Thales, Nexter, AIRBUS, Safran, GICAT et tns-Mars organisaient Les 14 et 15 novembre 2023, à Versailles, la deuxième édition de la conférence Combat Aéroterrestre 2035.

Cette conférence est une opportunité pour les experts étatiques et industriels de partager leurs visions du combat aéroterrestre futur au-delà de l'horizon programmatique de 2035. Pour cette deuxième édition, les enseignements de l'évolution récente du contexte géopolitique ainsi que les conclusions des assises de l'Armée de Terre étaient mis à profit pour enrichir les discussions.

L'édition 2023 de Combat Aéroterrestre 2035 a tenu toutes ses promesses tant sur le plan de la qualité du programme que de la participation.

En effet, au cours de 70 présentations réparties sur 18 sessions techniques et quatre grandes tables rondes thématiques, les différents intervenants ont abordé et débattu des innovations, transformations et grandes ruptures opérationnelles, technologiques et capacitaires qui se préparent dans ce domaine.

Forum d'échanges, elle a permis à environ 320 participants (contre 180 lors de la première édition) issus de l'armée de Terre, de la DGA, d'industriels français et d'académiques, de partager leurs

réflexions capacitaires sur les engagements de haute intensité comme sur les défis du combat aéroterrestre futur.

Cette conférence était aussi une occasion pour tous les acteurs du secteur, Institutionnels, grands maîtres d'œuvre industriels, TPE, PME/PMI et aussi startups de se rencontrer, de présenter leur vision de l'avenir, de promouvoir, d'exposer leurs solutions et de faire du networking dans le cadre d'un salon exposants dans lequel étaient présentes 25 entreprises.

Parmi celles-ci étaient invitées huit start-ups présélectionnées dans le cadre du Startup Contest organisé par 3AF et le GICAT. Les start-ups ont eu l'occasion de présenter leur entreprise et leur solution innovante lors d'une séance de pitches et de questions-réponses organisée le 15 novembre. Le jury composé de 10 membres issu du Comité Programme de la Conférence a décerné cette année le premier prix à Nanomade qui conçoit et commercialise des capteurs de déformation ultra-sensibles, ultra-fins et conformable à n'importe quelle forme 3D, de sorte qu'elle peut rendre tout objet « intelligent » et connecté. Nanomade gagne ainsi sa place sur le prochain salon Eurosatory en juin 2024.

Grâce à l'engagement du comité de programme et l'équipe d'organisation de 3AF, cette deuxième édition conférence Combat Aéroterrestre 2035 a dépassé nos attentes et confirmé tout l'intérêt de ces rencontres tant pour les industriels que pour les donneurs d'ordre du Minarm. ■

Le compte rendu technique détaillé de cette Conférence sera publié dans le prochain numéro de Lettre 3AF (N°2-2024 parution début avril).

RAPPORT DU COLLOQUE P2I-2023

par Jean-Marc Brunel

P2I 2023 - RETOUR SUR UN COLLOQUE CONSACRÉ À LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE ET L'INNOVATION, ENJEUX MAJEUR DE SOUVERAINETÉ

Fruit, cette année, de la coopération entre l'Université de Bordeaux, l'Institut National de la Propriété Industrielle (INPI) et l'Association Aéronautique Astronautique de France (3AF), le Colloque Propriété Intellectuelle et Innovation (P2I) s'est tenu les 4 et 5 octobre sur le Campus Universitaire de Bordeaux.

Concocté par un comité Programme, co-présidé par l'actuel Président de la Commission Technique Propriété Intellectuelle de la 3AF, Jean-Marc Brunel, et son prédécesseur, Jean-Pierre Astier, son programme et ses orateurs reflétaient la diversité des acteurs de la Propriété Intellectuelle et de ses enjeux actuels pour la France et ses entreprises.

L'implication significative de l'antenne régionale Nouvelle Aquitaine de la 3AF, l'expérience de ce type d'évènement de l'équipe centrale 3AF et le soutien financier de 9 partenaires en ont permis une organisation louée par les participants.

Pour mémoire, La commission Propriété Intellectuelle de la 3AF accueille non seulement des praticiens de la PI dans les entreprises du monde aérospatial mais aussi dans les centres de recherche et les secteurs industriels proches (automobile, défense, nucléaire, naval, telecom, informatique...) ainsi que des Conseils en Propriété Industrielle exerçant la profession libérale.

L'objectif de ce colloque était d'aborder l'Innovation et la Propriété Intellectuelle sous l'angle de la souveraineté nationale et de l'indépendance des entreprises, dans le contexte géopolitique, économique et législatif actuel

La diversité est ce qui caractérise le Colloque P2I. Cette édition n'a pas failli à la tradition :

- Diversité des participants avec 98 auditeurs représentants des grandes entreprises et PME (Safran, Airbus, Thales, NavalGroup, Eurenco, Dassault Aviation, Orange...), de la recherche (CNRS/CEA), des institutions (INPI, DGA, Région), du milieu académique (CEIPI - Université de Strasbourg,

Université de Bordeaux) et de la profession juridique (avocats, conseils en propriété industrielle, mandataires européens).

- Diversité des sujets avec des interventions sur les objets de droits de propriété intellectuelle : Logiciels, Brevets, Marques, Dessins&Modèles, Savoir-Faire confidentiel et enjeux stratégiques : Exploitation de l'information Brevet, Innovation, Défense Nationale, Liberté d'Exploitation, Valorisation.

- Diversité des interventions, sous forme de différentes sessions, conférences pilotes, présentations et riches échanges avec l'assistance.

Après les discours introductifs et le rappel de la place de l'Innovation et de la Propriété Intellectuelle au sein de la stratégie de l'Université de Bordeaux, le colloque commença par des interventions ayant pour objectif de rappeler la Politique Nationale de Propriété Intellectuelle en positionnant la France dans l'écosystème de la Propriété Intellectuelle mondiale. Les différents témoignages rappelèrent le rôle clé des brevets et de l'Innovation dans la compétition aujourd'hui mondialisée avec des concurrents comme les Chinois pleinement conscients de la force des brevets dans la stratégie d'Influence et de souveraineté.

La maîtrise de la protection des technologies duales civiles-militaires fit l'objet d'une session où le règlement fut rappelé par la Délégation Générale de l'Armement (DGA) suivi d'exemples montrant des réussites de réindustrialisation dans le domaine de la défense notamment grâce à une politique de protection efficace ce qui permit un échange fructueux qui rassura l'assistance.

La session suivante mit en exergue l'Exploitation de l'information Brevets, outil stratégique indispensable, quelle que soit la taille de l'entreprise, démontré par les différents orateurs représentant des PME et des grands Groupes.

La présentation des récents développements de l'Intelligence Artificielle applicables à l'Analyse Brevets fut l'occasion d'un riche débat laissant apparaître quelques interrogations liées notamment à la cybersécurité.

La deuxième journée commença par une session sur l'importance de la Liberté d'exploitation grâce à une Propriété Intellectuelle adaptée. Etayée par des présentations de juristes et Conseils en Propriété Intellectuelle, les bons réflexes à avoir furent rappelés tant dans le domaine des brevets que des marques et des dessins et modèles. Ces réflexes sont valables quelle que soit la taille de l'Entreprise (et des laboratoires publics) et doivent nous prévenir de l'encerclement technologique qui entraînerait la perte de souveraineté.

La session suivante permit de mettre en évidence l'enrichissement mutuel des processus d'innovation et de Propriété Intellectuelle. Les présentations d'organisations tant dans le domaine des entreprises que dans le domaine académique ont suscité de nombreux échanges où la reconnaissance des inventeurs était le dénominateur commun.

Comment parler Propriété Intellectuelle des entreprises sans évoquer l'exploitation économique ? Capital immatériel des entreprises comme des laboratoires publics, les deux dernières sessions

explorèrent cet aspect : Les droits de propriété intellectuelle, peuvent faire l'objet de transferts lorsqu'un laboratoire ou une entreprise innovatrice n'a pas le domaine de compétence ou les moyens d'exploiter l'invention. Une analyse approfondie de la Protection et valorisation des innovations numériques, sujet sensible, fut présentée à la grande satisfaction de l'auditoire.

Il fut également mis en évidence l'importance de la collaboration, par des processus de négociations, de sécurisation des canaux d'échange d'informations, d'analyse des risques, tout en pointant les erreurs à éviter et les mesures à prendre pour aboutir à des échanges pérennes lors d'un transfert de technologie. Les intervenants insistèrent sur l'importance de la prévention des risques juridiques, pour ne pas être confronté à des litiges ou à la loi sur le secret des affaires relative aux fuites d'informations.

Les échanges nombreux lors des pauses et déjeuners tout comme les retours via les réseaux sociaux ont démontré le succès de cette édition bordelaise qui restera un grand cru ! ■

VIE DE LA 3AF

LA RÉUNION DU HAUT CONSEIL SCIENTIFIQUE TENUE LE 15 NOVEMBRE 2023

par Jean-Pierre Sanfourche

Sous la présidence de Stéphane Andrieux le HCS a tenu sa 2^{ème} réunion de l'année le 15/11/2023 à la 3AF.

Le HCS a accueilli deux nouveaux membres : Mathieu Ratteville (DGA-AID) et Bruno Stoufflet (Dassault Aviation et Académie des Technologies).

Le thème transverse « Nouveaux Enjeux de Certification ». C'est le thème « transverse » qu'il a été décidé de proposer aux Commissions techniques. Il devrait faire l'objet d'ateliers de réflexion (*workshops*) sur la base de quelques sous-thématiques proposées par le HCS :

- Comment définir et préparer les nouveaux moyens de certification utiles pour les innovations de rupture et les systèmes intelligents ?
- Comment aborder les systèmes non déterministes ?
- La certification des opérations ;
- Faut-il aller vers une qualification de systèmes d'apprentissage et IA générative, une qualification des opérateurs de ces outils ?

- Sera-t-on amené à repenser les interactions entre certification et exigence & méthodes de sûreté et y a-t-il de fait concurrence entre ces concepts, en pratique ?
- La certification par la simulation et les données permettra-t-elle de réduire les coûts et les délais ?
- Serait-il possible d'identifier quelques objectifs de certifications nouvelles, par exemple centrage et équilibrage dynamique des avions civils (avions « instables ») – haut voltage pour les puissances électriques embarquées – composants et nouveaux matériaux par et pour l'impression 3D – hybridation essai/simulation /données pour la certification – commandes de vol avec AI ?

Ce sujet est à l'ordre du jour de la Journée Annuelle des Commissions Techniques du 16 janvier prochain.

Mots-clés : IA, Data, Intelligence embarquée, Interaction avec l'environnement, Data Driven Modelling, Extension des domaine (puissance électrique, cryogénie, carburants, ...), nouveaux concepts. ■

GROUPE RÉGIONAL PROVENCE CAP JEUNES

par **Louis Fabre**, président et **Mickael Farnaud**, chargé de la communication du groupe Provence

Depuis bientôt 10 ans, le groupe Provence maintient un rythme d'activité de 6 événements annuels, conférences et visites, et s'oriente vers la promotion de l'aéronautique et de l'espace auprès des plus jeunes.

Ainsi en octobre 2014 et 2015, le groupe a participé au premier forum aéronautique de Saint-Auban organisé par l'académie d'Aix-Marseille, puis en 2016 au forum organisé sur la Base Aérienne 701 de Salon-de-Provence.



*Affiche de la 3^{ème} journée aéronautique
(crédit Académie Aix-Marseille)*

2017 marque un tournant pour le groupe qui passe du statut d'invité au statut de coorganisateur dans le cadre de « l'Avignon Airshow 2017 ». Ainsi l'organisation de l'événement confie-t-il au groupe la mise en place d'un forum étudiant, une journée « emploi et formation aéronautique ». Grâce à la mobilisation de notre réseau, environ 50 entreprises et établissements de formation, cette journée a été un véritable succès en attirant plus de 500 visiteurs.



*Stand 3AF lors de la journée
emploi et formation aéronautique*

En 2018 et 2019, le groupe a organisé deux conférences au profit des étudiants de l'Institut de Formation Universitaire du Transport Aérien de l'université de droit d'Aix-en-Provence, sur des sujets

clefs de l'avenir du transport aérien: l'impact du réchauffement climatique sur le transport aérien, et les nouveaux projets de transport supersonique.

En 2019 un autre événement d'envergure a été organisé cette fois-ci au profit de lycéens de l'enseignement professionnel du lycée hôtelier Alexandre Dumas de Cavaillon (Vaucluse) : 80 lycéens éloignés du monde de l'aéronautique et de l'espace ont reçu la visite d'Alain Maillet scientifique à l'Institut de Médecine et de Physiologie Spatiale, de monsieur Chancerel, de la société Henaff, et du chef Christophe Larrat de la société Ducasse Conseil pour une journée thématique sur l'alimentation dans l'espace. Les lycéens et leurs enseignants ont profité d'une conférence magistrale de messieurs Maillet et Chancerel sur l'alimentation à bord de la station spatiale internationale et les techniques de conservation des aliments. Une classe terminale professionnelle de cuisine a pu préparer sous la direction du chef Christophe Larrat, créateur des recettes, une recette extraite du catalogue des 200 recettes disponibles pour les astronautes.



*Intervention de A. Maillet dans l'amphithéâtre
du Lycée Alexandre Dumas*

Grâce aux excellents contacts maintenus avec le CNES pendant la période COVID, une intervention similaire a été conduite au profit des apprentis du Centre de Formation des Apprentis (CFA) d'Aix-en-Provence au mois de novembre 2023. A cette occasion plus de 110 apprentis et leurs enseignants ont assisté, avec un très grand intérêt, à la présentation par monsieur Maillet, passionné par les innovations techniques mises en œuvre et notamment la nouvelle la machine à mousse à chocolat : https://videotheque.cnes.fr/index.php?urlaction=doc&id_doc=38464&rang=1&id_panier=#

Cette fois encore, une classe de CAP cuisine a pu réaliser sous la supervision du chef Larrat, un menu complet sur la base des recettes du catalogue du CNES. Ce repas a été ensuite servi au restaurant d'application du CFA.



*Intervention de messieurs Maillet et Larrat
au CFA d'Aix en Provence*

En octobre 2019, c'est au profit des stagiaires de la préparation militaire marine (PMM) que le groupe Provence a organisé une visite de la société Airbus Helicopters et du musée de l'aviation de la ville Saint-Victoret. Ces jeunes volontaires âgés de 16 à 21 ans et de tous niveaux scolaires ont ainsi pu découvrir une autre facette de la marine nationale, l'aéronautique navale et en particulier les hélicoptères. Suite au succès de cette journée, l'événement a été réédité en mars 2020 avec la PMM de Saint-Etienne.



*Supervision de l'exécution
d'une des recettes du menu par C.Larrat*

En novembre 2020 le groupe Provence participe, avec l'association Marseille-Innovation et la région Sud, à l'organisation de l'épreuve locale du « hackaton Actinspace 2020 ». Cette édition, bien que complètement virtuelle en raison des contraintes sanitaires du moment, a été un véritable succès grâce au talent des participants et à la mobilisation des partenaires locaux. L'édition locale a attiré 70 candidats, principalement des étudiants et jeunes chercheurs tous passionnés porteurs de projets de création d'entreprises, regroupés en 10 équipes pour

répondre à des défis sur des thèmes très variés. Ainsi pendant les 24 heures de l'épreuve, les participants ont été soutenus par des coachs et experts locaux de Marseille Innovation, de la 3AF, du CNES, de l'INPI (Institut National de la Propriété Industrielle) et des spécialistes de la création d'entreprises innovantes. A l'issue de l'épreuve, la 3AF a offert l'adhésion annuelle aux 2 vainqueurs qui ont pu rédiger un article de présentation de leur projet dans la Lettre 3AF n° 47 - mars-avril 2021, 29/04/2021.

Les années 2021 et 2022 ont été marquées par la mise en place des ateliers aéronautique et espace dans différentes écoles primaires du groupe : 8 ateliers ont été organisés sur deux ans.

Les ateliers comportent deux modules de 1h30 de durée chacun :

- Module aéronautique (Focus Avion / Hélicoptère)
 1. Historique
 2. Comparaison Nature / Forme des aéronefs
 3. Explication de la physique du vol avec ateliers basiques pour que les enfants appréhendent les phénomènes d'écoulement de l'air.
 4. Quizz répartis tout au long des chapitres, pour animer le module.
- Module spatial
 1. Historique (focus course à la lune USA / URSS)
 2. Missions Apollo et anecdotes
 3. Phases d'un lancement d'une fusée
 4. Les différents éléments envoyés dans l'espace
 5. La station ISS
 6. Les futures missions sur la Lune et Mars
 7. Quizz répartis tout au long des chapitres.

Ainsi sur une journée, l'intervenant 3AF a-t-il animé les ateliers auprès de 4 classes d'une trentaine d'élèves.

Ces ateliers nécessitent des efforts pédagogiques pour maintenir l'attention des jeunes scolaires (alternance des ateliers et des quizz) mais aussi des efforts d'adaptation au rythme d'une journée scolaire en primaire. Ces ateliers ont été mis en place grâce à l'initiative du parent d'élève membre de la 3AF ainsi qu'à l'engagement de l'équipe enseignante.

Ces interventions inaugurées auprès des scolaires répondent aux nouvelles orientations de l'Education Nationale pour le développement d'une culture scientifique et technique.

VIE DE LA 3AF GROUPE RÉGIONAL PROVENCE - CAP JEUNES



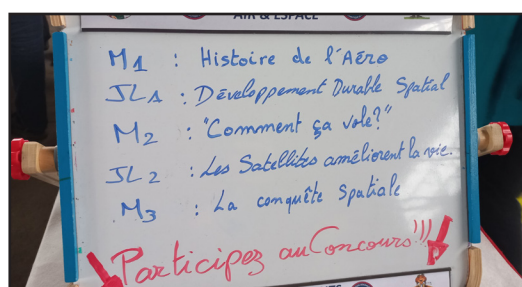
Les stagiaires de la PMM lors de leur réception chez Airbus Helicopters

En mai 2023 durant le meeting des 70 ans de la Patrouille de France, sur la BA701 à Salon de Provence, les membres du groupe ont transposé les ateliers ludiques mis en place dans les écoles primaires au profit des jeunes visiteurs du meeting. Ces ateliers ont remporté là aussi un franc succès.

L'année 2024 s'annonce aussi dynamique avec une reconduction des ateliers dans les classes primaires et une première intervention dans un collège lors de la journée défense. Ainsi une des missions que le groupe Provence s'est fixé de susciter l'intérêt pour les sciences et techniques notamment dès les premières années de scolarisation et d'éveiller à la passion de l'aéronautique et au spatial.



Installation pour les ateliers en classe primaire



Liste des ateliers proposés sur le stand 3AF lors du meeting aérien de Salon de Provence



Susciter la Passion

AGENDA DES COLLOQUES 2024

- **OPTRO2024** : 11th International Symposium on Optronics in Defence and Security / 23-25 janvier (Bordeaux).
- **MEA 2024** : 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 / 11-12 juin 2024 (Toulouse Diagona).
- **ERF2024** : 50th European Rotorcraft Forum / 10-12 septembre (Marseille).
- **IES 2024** : Intelligence Économique et Stratégique / novembre (Strasbourg).
- **TSAS** : Towards Sustainable Aviation Summit / janvier 2025 (Toulouse)

L'AGENDA NATIONAL du premier semestre 2024

- Mardi 19 septembre de 18h30 à 20h00 en visiophonie : **Les challenges de la qualification du système d'éjection du rafale**, par **Jacques Lacheney** en partenariat avec le groupe "Centre" de 3AF et le Groupement des Ingénieurs et Cadres Supérieurs de l'Aviation Civile (GIACRE).
- Mardi 16 janvier à 13h30 - **Workshop : Exploration spatiale, une opportunité pour les technologies...** Organisé par le groupe Transport spatial de 3AF avec la SFEN. Ce workshop exceptionnel, qui permettra de discuter avec de nombreux experts, est organisé en collaboration avec la Sfen (Société Française de l'Energie Nucléaire). Son accès est ouvert à tous et est gratuit pour les adhérents de la Sfen et de la 3AF.

- Jeudi 18 janvier à 08h00 - **Les transports de demain, quels ingénieurs pour de nouvelles ambitions ?** Organisé par le groupe Ile-de-France. Ce colloque est organisé en partenariat avec l'université de Nanterre et le musée de l'Air et de l'Espace de Paris - Le Bourget. Les inscriptions sont ouvertes au tarif de 70€. Ce tarif comprend les pauses de la matinée, le déjeuner du midi et la pause de l'après-midi.
- Mardi 23 avril à 09h00 au Mercredi 24 avril à 20h00 - **Les Entretiens de Toulouse 2024**. Développez vos compétences avec les Entretiens de Toulouse les 23 et 24 Avril 2024 à l'ISAE SUPAERO. Les Entretiens de Toulouse sont une formation scientifique et technique de haut niveau. Par leur format original, ils permettent une ouverture sur des sujets à fort enjeu industriel, tout en préservant la confidentialité des échanges. Ils s'élargissent aux aspects d'innovation, du management et des problèmes de société.
- Mercredi 12 juin au Vendredi 14 juin - **CEAS EuroGNC 2024** - La conférence EuroGNC 2024, organisée par CEAS, l'université de Bristol et RAeS, est une conférence focalisée sur le développement des techniques de guidage, navigation et pilotage et leur l'application aux véhicules aérospatiaux. Les travaux de nature plus théoriques ainsi que visant des applications similaires (par exemple en automobile, robotique, énergie ou marine) sont aussi les bienvenus. L'édition 2024 aura lieu du 12 au 14 juin 2024 à l'université de Bristol (Royaume Uni) et avec le support de la Royal Aeronautical Society (RAeS).

Inscrivez-vous pour nos prochains colloques



<https://www.3af-aerodynamics.com/>



<https://www.3af-erf2024.com/>



<https://www.3af-spacepropulsion.com/>



Association Aéronautique
et Astronautique de France

www.3af.fr