

Rapport sur la création d'une chaire

Intitulé initial

« Industries aéronautiques et spatiales »

Nouvel intitulé proposé

« Industries aéronautiques durables et spatiales »

1. Résumé

Intitulé de la chaire : « Industries aéronautiques durables et spatiales »

EPN : EPN04 de rattachement, (collaborations avec EPN01, EPN03 et EPN05)

Laboratoires : rattachement LMSSC, DynFluid, PIMM, synergies avec LAFSET, SATIE, CEDRIC et M2N

Rapporteur : Jean-Luc THOMAS

Domaines d'expertises, mots-clés :

Industries aéronautiques, Industries aérospatiales, **Aéronefs** (avions, hélicoptères, drones), **Astronefs** (véhicules spatiaux, lanceurs, satellites), **Systèmes embarqués** (électriques, électroniques, automatique et informatiques), Systèmes **propulsifs**, **Biocarburants** aériens durables, **Décarbonation**.

Résumé et enjeux, incluant impact économique et sociétal :

Les industries aéronautiques constituent un moteur majeur de la croissance nationale. En effet le transport aérien civil, incluant la construction aéronautique, contribue pour **4.3% du PIB national en 2019** [1]. Par ailleurs la croissance du trafic aérien suit depuis environ 50 ans presque exactement celle du PIB mondial [8]. Les branches industrielles associées sont présentes depuis 60 ans [JP. Herteman].

Sur les 200 000 **emplois** directs de la filière aéronautique et spatiale [1], **90%** sont associés à **l'aéronautique** et **10%** sont associés au domaine du **spatial**. Néanmoins l'industrie spatiale constitue un **développement économique et sociétal potentiellement plus important** que le domaine aéronautique [JP. Herteman]. Sur le plan industriel les entreprises comme AIRBUS, SAFRAN et THALES sont dans le classement des 10 premiers déposants de brevets en France. **L'innovation est donc au cœur de l'aéronautique française [1].**

L'article de presse Les Echos [6], représentant une actualité presque synchrone avec la rédaction du présent rapport, traite de l'avenir du **transport aérien vis-à-vis des objectifs de réduction de CO2** du secteur. Dans le communiqué de presse associé au document [5], en date du 13 avril 2021, le Président du GIFAS (*Groupement des Industries Françaises Aéronautiques et Spatiales*), *Monsieur Eric Trappier*, a insisté sur l'effort nécessaire à fournir en R&D pour concevoir **l'avion décarboné de demain, digital et connecté** [1].

État de l'art au CNAM, en France :

Le rapporteur souhaite rappeler que la chaire de « **Conception des systèmes mécaniques** » est vacante depuis 2017 et que la chaire « **Aérodynamique industrielle** » est vacante depuis 2020. Il est à noter que les laboratoires associés à ces deux chaires sont LMSSC, DynFluid et PIMM.

Les nouveaux enjeux de la filière aéronautique et spatiale présentés succinctement supra invitent clairement à **redéfinir les périmètres de la chaire visée**, aussi bien sur le volet enseignement que sur le volet recherche.

En France, de nombreux acteurs de formation existent [2], [3] et [7]. Nous pouvons citer pour le niveau ingénieur, le groupe **ISAE**, les établissements spécialisés **ENAC**, **IPSA**, **ELISA AEROSPACE** et les écoles généralistes d'ingénieurs proposant des parcours ou options en lien avec l'industrie aéronautique.

Conclusion :

La chaire visée devrait être **transverse à plusieurs EPN et à plusieurs laboratoires du Cnam**, de manière à couvrir l'approche « systémique ». Dans cet objectif, **l'interdisciplinarité est indispensable** (l'aérodynamique, la mécanique du vol, les systèmes avioniques embarqués, les systèmes de propulsion aéronautique et spatial, les matériaux, la mécanique des structures, les systèmes pour la gestion et la distribution de l'énergie électrique à bord et au sol, les systèmes de communication et de repérage, l'informatique de bord, la cybersécurité, ...).

Après analyse de la littérature technique, scientifique, industrielle et économique traitant de l'aéronautique, *i.e. plus précisément du transport aérien civil*, la présence d'un terme dans l'intitulé de la chaire en lien direct avec le défi de la « **décarbonation** » [1], [8] apparaît désormais incontournable pour garantir l'attractivité de la chaire visée. Par ailleurs, même si les activités de la chaire seront en priorité associées aux aéronefs, **il est stratégique pour celle-ci de développer également des activités relatives aux astronefs**.

De plus, la synergie « **ingénieur-pilote** » constitue un élément stratégique pour l'avenir de la filière.

Enfin une **collaboration** entre le(la) titulaire de la chaire « **Hydrogène** » et le(la) titulaire de la chaire visée serait à créer, constituant naturellement un élément stratégique pour l'établissement.

2. Argumentaire

Enjeux : Le rapporteur souhaite reprendre ici les enjeux formulés par les porteurs du projet et les compléter à travers l'analyse des documents du GIFAS [1], [5] et en effectuant la synthèse des auditions menées avec les personnalités citées et remerciées au §5.

« L'industrie aéronautique et spatiale est un axe majeur de l'industrie française et européenne, et la formation de techniciens et d'ingénieurs dans ces domaines est un enjeu majeur pour répondre à la demande du marché. Depuis 40 ans le transport aérien évolue en moyenne deux fois plus vite que le PIB dans le monde, sauf aux USA où il a atteint sa maturité. L'industrie aéronautique, en croissance, crée des emplois y compris sur le territoire national car la compétitivité « hors du coût de main d'œuvre » y est particulièrement critique (compétences, infrastructures, etc. ...). Plus modeste en taille, l'industrie spatiale a fait la démonstration de son importance stratégique (télécommunications, GNSS, etc.) avec des emplois principalement situés en aval dans les applications ». « Si les technologies évoluent assez lentement dans ces secteurs, sécurité oblige, elles se transforment très profondément pour répondre aux enjeux technologiques, environnementaux, sociétaux et économiques pressants du secteur. Pour conserver un niveau de croissance élevé, il a fallu maintenir sensiblement constant le

coût du transport aérien et son impact environnemental, ce qui a conduit à la réduction de la consommation de 75% par rapport à l'année 2000, année de référence, à la réduction des émissions de CO₂ et de NOX de respectivement 75% et 90%, et à la réduction du niveau de bruit perçu d'origine aérodynamique de 65%. L'initiative technologique européenne conjointe Clean Sky repousse encore les exigences de performances pour « un système aérien propre, innovant et concurrentiel ».

« L'atteinte de ces objectifs demande un engagement technologique fort dans les domaines fortement intriqués de l'aérodynamique, de l'acoustique, des matériaux, de la mécanique des structures et des systèmes, de la propulsion (thermique et/ou électrique), ainsi que des systèmes embarqués, de la gestion et de la distribution d'énergie, tant au niveau de la formation que de la recherche »

Le rapporteur souhaite par ailleurs compléter ces enjeux en mettant en avant un défi majeur et incontournable désormais, défini par la « **décarbonation** » du transport aérien dont le besoin mondial est toujours croissant [1]. De plus raisonner par de multiples approches pluridisciplinaires constitue un véritable « challenge » pour le transport aérien.

Même si le secteur spatial ne concerne que 10% des emplois de la filière « aéronautique et spatiale » [JP.Herteman], il n'en demeure pas moins que de nombreux défis sont à relever [9], [10], pour lesquels des formations existent [3] et devraient être renforcées.

Le rapporteur souhaite ainsi présenter, de manière non exhaustive, un certain nombre de thématiques, résultantes des échanges avec les personnalités rencontrées, constituant des **challenges industriels importants et qui justifient la création d'une chaire à large spectre**, intégrant le développement d'actions spécifiques en relation avec l'espace.

Spatial :

- Evitement de collision de satellites / récupération de débris spatiaux (label développement durable satellitaire), gestion du trafic des satellites / fiabilité des satellites / missions de désorbitations
- Réalité virtuelle pour les chaînes d'assemblage des engins spatiaux.

Transport aérien civil :

- Réduction du bruit acoustique, Réduction de la consommation,
- Drones pour la surveillance des réseaux électriques et ferrés (SNCF, ENEDIS, AREVA, RTE), Drones « hyper-flexibles » (ONERA),
- Gestion de l'énergie électrique embarquée, Alimentation électrique au sol, Stockage, Electrification partielle des systèmes propulsifs
- Volet pilote : sécurité des vols / facteurs sociaux et organisationnels humains/ Oubli du facteur humain dans la gestion des risques dans l'esprit de l'ingénieur,
- Utilisation de l'Intelligence artificielle dans la commande des vols / Cyber-sécurité constituant également un enjeu important pour les compagnies aériennes / Jumeau numérique / Dimension de simulation numérique /
- Avion « Hydrogène » / Biocarburants - « SAF » (Sustainable Aviation Fuels) [11]

Conditions d'équilibre économique du projet de création

- **Potentiel élèves**

A ce jour, la volumétrie Cnam est basée sur un nombre approximatif d'inscrits par an :
35 en FISA « Aéronautique et espace », 25 en DUT-GMP « Aéronautique », 20 en HTT « Aéronautique »
Le volume horaire estimé est de **4000 HED** (Source EPN04).

L'apprentissage étant une priorité incontournable de toute la filière [5] (GIFAS), la dynamique pour une augmentation des apprenti(e)s est clairement positive.

- **Lieux de formation**

Cnam **Paris** et les CCR Aquitaine (**Bordeaux**), Occitanie (**Toulouse**) et PACA (**Marignane**).

- **Recherche**

Les laboratoires de recherche (LMSSC, PIMM, DynFluid) ont noué et entretiennent de fortes relations avec les organismes institutionnels (ONERA, CNES,...), les constructeurs aéronautiques et spatiaux (ARIANEGroup, SAFRAN, AIRBUS, DASSAULT, THALES, ...) et les instances européennes (Clean Sky 2).

L'Institut Aérotechnique, qui est une marque du Cnam, et l'un des plus anciens instituts de France actif dans le domaine de l'aéronautique, possède des installations uniques au niveau des établissements d'enseignement publics, mais aussi de recherche.

L'industrie française souhaite être le contributeur principal à la construction de l'avion de demain, décarboné, digital et connecté [1]. **Il est donc indispensable de développer des synergies entre les activités de recherche des laboratoires LMSSC, PIMM et DynFluid et celles associées aux laboratoires LAFSET, SATIE, CEDRIC et M2N.**

- **Partenaires économiques et sociétaux**

Un tel projet nécessite un appui important de la part des grands groupes industriels du domaine (AIRBUS, SAFRAN, ARIANE Espace, AIRBUS Helicopters, DASSAULT Aviation, NAVAL Group, Thales), mais aussi des PME et des Start-Up innovantes associées. Les entreprises de la filière sont fédérées par le GIFAS (Groupement des Industries Françaises Aéronautiques et Spatiales).

L'implantation dans les territoires des entreprises concernées devrait impliquer de manière très naturelle les Centres Cnam en Régions.

Activités attendues du titulaire de chaire à partir des missions listées dans le Décret 2019-1122 du 31 octobre 2019 (Art. 2):

Le titulaire de cette chaire ne devrait pas être un spécialiste d'un domaine précis des technologies de l'aéronautique et du spatial mais au contraire devrait être en mesure d'avoir une vision à large spectre et présenter un profil pluridisciplinaire et multi-compétences pour les « objets volants » de toute nature.

Le titulaire devrait être une référence internationale en Recherche et Développement (R&D) dans une des spécialités clés de la filière, mais devrait aussi, outre sa capacité de pensée systémique, être en mesure de transmettre les bases des méthodes de conduite de projets complexes aux apprenants.

1. Enseignement

- Pilotage des formations disponibles en « ingénierie mécanique et des matériaux » quelles que soient les modalités (HTT, FISA, FOAD) et MOOC
- Création d'un diplôme ingénieur HTT en « Aéronautique durable et spatial »,
- Création d'unités d'enseignement en relation avec les drones (HTT),
- Développement d'un diplôme d'ingénieur « Drone » (FISA),
- Organisation à la carte de formations « Intra-Entreprise » du secteur (FC marchande dont Cacemi)

Le rapporteur souhaite également préciser que le développement des formations spécifiques de techniciens supérieurs (par exemple techniciens en méthodes de fabrication avancées, essais et mesures, électrotechnique, électronique, hydraulique), dont le recrutement est difficile pour les PME, est un des points centraux du projet pédagogique à développer par le titulaire.

2. Elaboration, le développement et l'animation de projets et d'outils pédagogiques

- Développement de formations en lien avec les métiers de l'espace,
- Renforcer le développement des formations destinées à la reconversion des pilotes de lignes,
- Développement de projets pédagogiques innovants dans le domaine de la gestion de trafic des satellites et de récupération de débris spatiaux,
- Elaboration de formations dans lesquelles les pilotes de ligne seraient impliqués.

3. Appui au déploiement des formations du conservatoire dans l'ensemble du réseau

- Renforcement des relations avec les Centres Cnam en région (notamment **Occitanie / Toulouse, Nouvelle Aquitaine / Bordeaux, PACA / Marignane**) et ouverture à l'international.
- Recherche, mise en place et animation de partenariats universitaires et industriels, dans l'objectif de créer des formations en partenariat, mais également pour le développement des mobilités individuelles à l'international des apprenants.

4. Recherche scientifique ou innovation

- Le Cnam est très actif dans les recherches associées aux domaines de l'aéronautique et du spatial par le rattachement de ses enseignants-chercheurs au laboratoire LMSSC du Cnam, et aux laboratoires DynFluid et PIMM, en cotutelle Cnam-Ensam. Le titulaire pourra être rattaché à l'un de ces trois laboratoires selon ses affinités et ses domaines d'expertise.
- Le titulaire devrait être amené à mettre en place des synergies fortes entre le groupe de laboratoires (LMSSC / DynFluid / PIMM) avec les laboratoires SATIE, CEDRIC, LAFSET et M2N.
- Le titulaire pourrait aussi se voir confier la direction scientifique de l'IAT de St Cyr.

5. Contribution à la diffusion de la culture et de l'information scientifique et technique

- Organiser des journées d'acculturation du grand public sur la thématique de l'aéronautique décarbonnée, digitale et connectée.
- Développer des collaborations avec d'autres établissements dans le domaine de l'aéronautique et l'espace, notamment le « Musée de l'Air et de l'Espace ».

6. Développement de liens et de collaborations avec le monde socio-économique

- Adapter au mieux les formations des différentes spécialités aux besoins industriels, et fédérer les coopérations entre les différentes équipes du CNAM sur ces enjeux.

- Sa connaissance approfondie de l'industrie aéronautique et spatial française (GIFAS) et européenne, ainsi que des pôles de compétitivité (ASTECH en Île-de-France, Aérospace Valley en région Occitanie et Nouvelle Aquitaine, Safe en région PACA) et des EPIC (ONERA, CNES...) serait précieuse, tout comme une ouverture à l'international.

3. Bibliographie - Sitographie

- [1] GIFAS, « Filière aéronautique et avion décarboné : enjeux et perspectives 2020-2035, 5 mars 2021.
<https://www.gifas.fr/news/filiere-aeronautique-et-avion-decarbone-enjeux-et-perspectives-2020-2035>
https://res.cloudinary.com/gifas/image/upload/Documents/A%C3%A9ronautique_et_Avion_d%C3%A9carbon%C3%A9_-_Enjeux_et_perspectives_2020-2035_uybdnk.pdf
- [2] GIFAS, « Formations pour un métier dans l'industrie aéronautique et spatiale », Brochure Septembre 2020.
https://res.cloudinary.com/gifas/image/upload/Documents/BrochureFormation2020_hxnrf3.pdf
- [3] GIFAS, « Space academy », catalogue de formations, Brochure édition 2020.
https://res.cloudinary.com/gifas/image/upload/Documents/catalogue_formation_space_2020_yof6pd.pdf
- [4] GIFAS, « Métiers de l'industrie aéronautique et spatiale », Brochure édition 2020.
https://res.cloudinary.com/gifas/image/upload/Documents/Livret_Metiers_2020_hz2ak8.pdf
- [5] GIFAS, « Bilan 2020, Perspectives 2021-22 », Eric Trappier, Président du GIFAS, 13/04/2021
https://res.cloudinary.com/gifas/image/upload/v1618310275/doc-actu/GIFAS_R%C3%A9sultats_2021.pdf
- [6] Les Echos, Entreprises, Bruno Trévidic, « Comment le transport aérien espère atteindre la neutralité carbone en 2050 », 08/10/2021.
<https://www.lesechos.fr/industrie-services/tourisme-transport/comment-le-transport-aerien-espere-atteindre-la-neutralite-carbone-en-2050-1353135>
- [7] Les fiches métiers de l'IPSA, Ecole d'ingénieurs de l'air de l'espace et de la mobilité durable.
<https://www.ipsa.fr/ecole-ingenieur-aeronautique/presentation/>
- [8] Xavier Bouis, Président du Comité Sectoriel Aéronautique IESF, Document « Transport aérien durable », 10/05/2021.
https://www.iesf.fr/offres/doc_inline_src/752/2021_IESF_Comite_Aeronautique_XB_Mai.pdf
- [9] PWC, « Main Trends & Challenges in the Space Sector », 2nd edition, December 2020.
<https://www.pwc.fr/fr/assets/files/pdf/2020/12/en-france-pwc-main-trends-and-challenges-in-the-space-sector.pdf>
- [10] R.Lucken, L.Cid, V.Gabella, Q.Verspieren, D.Giolito, « Report for the World Economic Forum's: Space Sustainability Rating Framework », Share-My-Space, October 2018.
- [11] Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire, « Lancement des biocarburants durables pour le transport aérien français ».
https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/2020.01.27_DP_EB_JBD_Biocarburants.pdf

4. Glossaire

GIFAS : *Groupement des Industries Françaises Aéronautiques et Spatiales*

IESF : *Ingénieurs et Scientifiques de France*

5. Personnalités rencontrées

Tous nos remerciements pour leur collaboration et leurs informations précieuses :

Alexandre GARCIA	Professeur des universités - Ex-Directeur de l'EPN04
Xavier AMANDOLESE	Professeur des universités - Directeur de l'EPN04
Roger OHAYON	Professeur du Cnam émérite - LMSSC
Stéphane LEFEBVRE	Adjoint de l'administrateur général en charge de la recherche
Jean-Sébastien VILLEFORT	Professeur du Cnam - Directeur de l'EPN01
Tarek RAISSI	Professeur des universités – Président du Conseil scientifique du Cnam
Hélène TAUZIN	Consultant RSE - Pilote - Membre du Conseil d'administration du Cnam
Romain LUCKEN	CTO & Co-Founder at Share-My-Space
Geoffroy BOUVET	Président de l'APNA (Association de Professionnels Navigants de l'aviation)
Jean-Claude HERTEMAN	Ex-Président Directeur Général de SAFRAN – Ex-Président CA du Cnam

Dans le cadre du congrès **SIDPE 2021**, www.sidpe.fr, programme HORIZON de **reconversion des Pilotes de ligne**, organisé au Cnam le 17 septembre 2021, le rapporteur adresse ses remerciements à de nombreuses personnalités avec lesquelles des échanges fructueux ont fortement contribué à nourrir la réflexion sur la création d'une chaire « **Industries aéronautiques et spatiales** ».