

Actes du premier Colloque en partenariat entre :

L'Association Aéronautique et Astronautique de France,

Le Musée de l'air et de l'espace du Bourget et,

le CMI-ATE de l'Université Paris Nanterre.



Les transports de demain :

Quels ingénieurs pour de nouvelles ambitions ?

Musée de l'Air et de l'Espace

Paris le Bourget 18 janvier 2024

Sommaire

1. Comités et chairman	3
Comité scientifique & organisation	3
Chairman des sessions	3
Chairman de la table ronde	3
Comité d'édition des actes	3
2. Résumé du colloque	4
3. Programme	5
4. Résumé des présentations	7
Session 1 : Futur du transport	7
RISE (Open Fan) – L'innovation de rupture sur les architectures de moteurs.	7
Des pistes pour les moyens de transport du futur.	8
Vers une aviation décarbonée, les pistes de recherche de l'ONERA.	9
Enjeux et perspectives des transports d'ici à 2050.	10
Session 2 : Avants projets rigoureux et pluridisciplinarité	11
Pour des avant-projets innovants et fructueux.	11
L'acculturation des futurs ingénieurs aéronautiques aux défis de la transition énergétique.	12
Transversalité : approches sécurité et environnementale.	12
Spécifications et maîtrise des risques.	13
Session 3 : Démonstrations critiques, développements rapides et efficaces, intégration des équipements.	15
Nouvelles dimensions de l'ingénierie à l'heure du NewSpace.	15
Réalizations industrialisées dans un esprit de simplification et d'économies d'énergies.	16
Décarbonation des transports : entre acceptation sociale et faisabilité technique.	16
Session 4 : La formation des acteurs : clé de l'innovation et de la ré industrialisation.	17
Transmission du savoir par l'histoire.	17
"Do to think" à l'Université de Technologie de Belfort-Montbéliard (UTBM).	18
La formation des étudiants par les partenariats. La simplification des produits et des organisations, clé de la compétitivité des entreprises industrielles.	19
Session 5 : Expériences de grands projets.	19
A 380, quelques surprises pendant la mise au point.	19
Maîtrise des grands programmes	20
4. Table ronde, chairman Michel Polacco	22
5. Conclusion du colloque	22
6. Synthèse des recommandations à retenir pour le jeune ingénieur des transports	22
7. Liens web du support des présentations	23

1. Comités et chairman

Comité scientifique & organisation

- **Mathieu BEYLARD**, Responsable Planétarium, Musée de l'Air et de l'Espace.
- **Gérard LARUELLE**, Ancien VP recherche, ASTRIUM.
- **Bruno SERIO**, Professeur des Universités, Directeur des Études du Cours Master Ingénierie Aéronautique Transports et Énergétique, Université Paris Nanterre (CMI-ATE).
- **Michel KIEFFER**, Chargé de la spécialisation Aéronautique, Transport et Énergétique, Université Paris Nanterre (CMI-ATE).
- **Jacques RENVIER**, Ancien VP CFM International, Safran Aircraft Engines.
- **Alain MARIANNE**, Marine & Offshore Industry Solution Technical Senior Manager, Dassault Systèmes.

Chairman des sessions

- **Gérard LARUELLE**, Ancien VP recherche, ASTRIUM.

Chairman de la table ronde

- **Michel POLACCO**, journaliste aviateur.

Comité d'édition des actes

- **Bruno SERIO**, Université Paris Nanterre
- **Gérard LARUELLE**, Ancien VP recherche, ASTRIUM.

2. Résumé du colloque

Ce colloque est organisé par la 3AF (Association Aéronautique et Astronautique de France) en liaison avec l'Université Paris Nanterre et le musée de l'Air et de l'Espace du Bourget.

Le contexte actuel évolue fortement pour la concrétisation de nos transports de demain, qu'ils soient terrestres, navals ou aériens. Ces nouveaux transports doivent répondre aux attentes sociétales sur les plans sécurité et environnement en apportant une très forte réduction de la production de CO₂. Les exigences économiques et formations correspondantes doivent maintenant être très intimement associées aux avancées écologiques.

L'optimisation du bilan environnemental multicritères sur le cycle de vie complet des véhicules et de leurs composants sera une clé importante de notre réussite comme la recherche de la meilleure efficacité énergétique.

Toutes ces ambitions, fort motivantes pour les jeunes et leur avenir, imposent de multiples progrès dans les outils comme dans les méthodes de travail : de la conception à la maintenance, en passant par la production. Deux points seront particulièrement traités : la gestion des avants projets et la recherche de la simplification.

Industriels, formateurs, étudiants, services officiels, ... seront au cœur des échanges au Musée de l'Air et de l'Espace du Bourget le 18 janvier 2024.

3. Programme

8h Accueil.

8h30-9h00 Allocutions de bienvenue.

Anne-Catherine ROBERT-HAUGLUSTAINE, Directrice du Musée de l'Air et de l'Espace.

Bruno SERIO, Directeur des Études du Cursus Master Ingénierie Aéronautique Transports et Énergétique, Université Paris Nanterre (CMI-ATE).

Louis LE PORTZ, Président de l'Association Aéronautique et Astronautique de France (3AF).

9h00-10h20 Session 1- Futur du transport.

RISE (Open Fan) – L'innovation de rupture sur les architectures de moteurs. **François CARUEL**, Directeur de l'Audit Technique et Sponsor de la Filière Expertise, Safran Aircraft Engines.

Des pistes pour les moyens de transport du futur. **Michel KIEFFER**, Chargé de la spécialisation Aéronautique, Transport et Énergétique du CMI- ATE.

Vers une aviation décarbonée, les pistes de recherche de l'ONERA. **Sébastien DEFOORT**, Responsable de l'équipe "conception multidisciplinaire et avant- projets", ONERA et Enseignant en conception avion, ISAE-SUPAERO.

Enjeux et perspectives des transports d'ici à 2050. **Anne de CAGNY**, Directrice de la Prospective, ESTACA.

10h20-10h50 Pause-café.

10h50-12h10 Session 2- Avants projets rigoureux et pluridisciplinarité.

Pour des avant-projets innovants et fructueux. **François CARUEL**, Directeur de l'Audit Technique et Sponsor de la Filière Expertise, Safran Aircraft Engines.

L'acculturation des futurs ingénieurs aéronautiques aux défis de la transition énergétique. **Jean Luc CHARRON**, Président de la Fédération Française Aéronautique (FFA).

Transversalité : approches sécurité et environnementale. **Nicolas CAZALIS**, Directeur General Adjoint, ENAC.

Spécifications et maîtrise des risques. **Jacques RENVIER**, Ancien VP CFM International, Safran Aircraft Engines.

12h10-13h30 Buffet.

13h30-14h30 Session 3- Démonstrations critiques, développements rapides et efficaces, intégration des équipements.

Nouvelles dimensions de l'ingénierie à l'heure du NewSpace. **Jérôme VILA**, Chef de Programme chez MaiaSpace, Académicien en Ingénierie Spatiale à l'IAA (International Institute of Astronautics).

Réalisations industrialisées dans un esprit de simplification et d'économies d'énergies. **Alexandre SABENE**, **Alexandre FERNANDEZ MARTINS**, **Camille BARBIER**, étudiants CMI-ATE.

Décarbonation des transports : entre acceptation sociale et faisabilité technique. **Michael HADDAD**, Directeur des Innovations et des Partenariats, Alstom Group.

14h30-15h30 Session 4- La formation des acteurs : clé de l'innovation et de la ré industrialisation.

Transmission du savoir par l'histoire. **Mathieu BEYLARD**, Responsable Planétarium, Musée de l'Air et de l'Espace.

"Do to think" à l'Université de Technologie de Belfort-Montbéliard (UTBM). **Hugues BAUME**, Ingénieur-designer, Enseignant-Chercheur en design-industriel, Formation Mécanique et Ergonomie de l'UTBM.

La formation des étudiants par les partenariats. La simplification des produits et des organisations, clé de la compétitivité des entreprises industrielles. **Claude WALTER**, Dirigeant de la société Rythmes & Sons, partenaire industriel des projets du CMI-ATE.

15h30-16h00 Pause-café.

16h-17h Session 5- Expériences de grands projets.

A 380, quelques surprises pendant la mise au point. **Claude LELAIE**, Ancien Directeur Des Essais En Vol, Airbus.

Maitrise des grands programmes. **Jean-Claude HIRONDE**, Ancien Ingénieur en Chef du Rafale et du Falcon F7X, Dassault Aviation.

17h-18h00 Table ronde, chairman : Michel POLACCO, journaliste aviateur.

Lionel De La SAYETTE, Ancien Directeur Général Technique, Dassault Aviation.

Anne de Cagny, Directrice de la Prospective, ESTACA.

Jacques RENVIER, Ancien VP CFM International, Safran Aircraft Engines.

Raoul ROLAND, Technical Expertise Director, Alstom Group.

Bruno SERIO, Directeur des études du Coursus Master Ingénierie Aéronautique Transports et Énergétique (CMI-ATE).

Patrick TEJEDOR, Président de EuroSae, Président de la Commission Éducation Formation de l'Académie de l'Air et de l'Espace.

18h-18h20 Débat. 18h20-18h30 Conclusion. 18h30 Fin du colloque.

4. Résumé des présentations

Session 1 : Futur du transport

RISE (Open Fan) – L’innovation de rupture sur les architectures de moteurs.

Présenté par François CARUEL, Directeur de l’Audit Technique et Sponsor de la Filière Expertise, Safran Aircraft Engines.

François Caruel - Avants projets intelligents et innovation

François Caruel introduit son exposé en rappelant que depuis les débuts de l’aviation commerciale, les émissions de gaz à effets de serre d’un vol unitaire ont été réduits de 80% dont une grande partie par les évolutions d’architectures des moteurs. L’idée poursuivie a été d’augmenter le taux de dilution pour, à iso poussée, réduire la vitesse d’éjection des gaz et augmenter le rendement propulsif. Les taux de dilution sont ainsi passés d’environ 1 sur le JT8D à environ 6 sur CFM56 et maintenant 11 sur LEAP.

Cependant, les impacts environnementaux de l’aéronautique concernent aussi d’autres phénomènes comme l’émission de NOx, nuisibles à la santé, les impacts acoustiques dans les zones proches des aéroports et les émissions de fumées et particules. Sur tous ces aspects, l’évolution des technologies de chambre de combustion (pour ce qui concerne les NOx et les fumées et particules) et de fan et nacelles pour les impacts acoustiques ont permis des réductions très importantes des nuisances et pollutions.

Le dernier moteur à l’état de l’art, le LEAP, utilise nombre de technologies nouvelles (aubes fan en composites tissés 3D, carter fan composite, Chambre de combustion de nouvelle génération, anneaux de turbine HP en composite céramique et BP en Aluminaire de Titane, ..) pour permettre ces progrès sur l’ensemble des paramètres environnementaux. La conception aérodynamique des aubages de tous les composants a été améliorée de manière à en augmenter le rendement. Ceci a permis au LEAP d’entrer en service avec des marges substantielles au regard des normes et réglementations en vigueur sur tous ses aspects tout en maintenant les exigences de fiabilité et de coût de maintenance du CFM56.

Cependant, l’évolution du trafic aérien rend nécessaire une réduction encore plus forte des émissions unitaires des opérations aéronautiques. L’obtention de la neutralité carbone à l’horizon 2050 passera donc par notamment une réduction des émissions de CO2 jusqu’à -35 à -40% par des effets technologiques (consommation) et l’utilisation généralisée de SAF (Sustainable Aviation Fuels) pour environ 50% de réduction supplémentaire des émissions.

Safran dédie déjà plus de 80% de sa R&T autofinancée à cet objectif. Cependant, l’évolution des méthodologies de conception aérodynamique ne permettra plus de dégager des gains de rendements suffisants pour tenir les objectifs étant donné qu’ils sont déjà significativement supérieurs à 0.9.

De ce fait, les travaux entrepris adjoignent à ces conceptions de composants des modifications plus drastiques comme l’architecture physique du moteur totalement revue avec le développement de l’Open Fan RISE, le développement de l’utilisation de carburants alternatifs ou l’introduction de fonctions d’hybridation.

L’Open Fan doit permettre à lui seul d’offrir 20% de consommation carburant en moins et donc au moins autant en termes d’émissions si on tient compte du bénéfice des SAF. Le principe recherché est d’augmenter encore le taux de dilution sans être pénalisé par la masse des structures. Ceci induit des contraintes supplémentaires en termes de maîtrise acoustique (y

compris en cabine) ou de chargements aérodynamiques plus sensibles à l'attitude avion. Par ailleurs, la fonction hybridation permettra un gain en consommation mais potentiellement également en opérabilité. Enfin, l'utilisation des carburants alternatifs devra permettre une durée de vie similaire des équipements et des capacités opératoires identiques (par exemple concernant la capacité de rallumage en vol).

Enfin, le diamètre d'un Open Fan étant sensiblement différent d'un LEAP (*2), les fonctions telle l'hybridation étant en interaction plus forte avec les systèmes avion, l'influence d'un Open Fan sur l'aérodynamique de l'aile étant très différente des turbofans classiques, les travaux de conception d'architecture physique et système avions sont déjà entrepris en coopération avec les avionneurs.

Des pistes pour les moyens de transport du futur.

Présenté par Michel KIEFFER, Chargé de la spécialisation Aéronautique, Transport et Énergétique du CMI- ATE.

L'exposé développe la transition énergétique, dans le domaine des transports, en la nuancant en trois phases.

1- les déclarations d'intentions qui donnent bonne conscience mais qui n'ont pas d'impact sur la consommation d'énergie de nos moyens de transport ;

2- l'attente de solutions technologiques sans changer nos habitudes avec pour effet une faible efficacité malgré des dépenses considérables ;

3- le potentiel est énorme en changeant un peu nos habitudes afin de pouvoir concevoir différemment nos moyens de transport. Nous constatons que c'est peu coûteux et très efficace. Changer un peu nos habitudes sous-entend notamment des durées de vol un peu plus longues ou des voitures très légères de moindre capacité en nombre de places.

Les sujets présentés ont nécessité d'imaginer des modèles de dimensionnement pour les avions, les voitures, les bateaux... Ces modèles de dimensionnement concernent différents processus qui permettent d'établir de nombreuses fonctions, par exemple :

- pour un cahier des charge donné, processus de définition des caractéristiques de l'avion : puissance installée, surface alaire, surface des empennages...

- pour un type avion donné : définition de différentes fonctions telles : consommation au cent par siège en fonction de l'autonomie pour laquelle est conçu l'avion ; consommation au cent par siège en fonction de sa qualité massique ($QM = \text{masse à vide} / \text{masse au décollage}$) ; impact d'une variation de masse initiale (Δm) sur la variation de masse au décollage (ΔM_d) de l'aéronef : $\Delta M_d = \text{coefficient spirale} \times \Delta m$ (le coefficient spirale traduit l'amplification des masses liée à la variation de masse initiale)...

Ces modèles permettent d'imaginer des pistes prometteuses pour réduire les besoins en énergies de nos différents moyens de transport (phase 3 de la transition énergétique présentée ci-dessus).

Extraits pour les avions :

- Avions très long courrier : comparé à un avion très long courrier, un avion de même capacité dont l'autonomie est réduite de 45 % et la vitesse de croisière de 30 % débouche sur une diminution de 68 % de la consommation sur l'ensemble du vol. Ceci au prix d'un ravitaillement à mi-parcours et d'une durée de vol un peu plus élevée. Les émissions de CO₂ passent ainsi d'environ 1300 kg à 400 kg par siège pour l'ensemble du vol.

- Avions de transport régional hybrides à moteurs non liés : ce concept hybride permet une réduction des consommations de l'ordre de 60 % tout en ouvrant la porte à des autonomies inaccessibles à des avions purement électriques. Un démonstrateur, d'une envergure de cinq mètres, a permis de valider ce principe lors d'essais en vol réalisés en 2023.

D'autres sujets sont développés, notamment :

- réaliser des approximations justes pour des résultats très rapides afin de ne pas se tromper de voie en début de projet ;
- construire des chaînes de compétences pluridisciplinaires pour aboutir des projets complexes;
- réduire les coûts par la simplification des systèmes pour pouvoir produire en France tout en étant compétitif comparé aux pays à bas coûts ;
- suivre le processus de conception avion et ses indispensables conceptions au fil des essais au sol et en vol ;
- construire des gammes et des extrapolations pour capitaliser l'expérience...

Vers une aviation décarbonée, les pistes de recherche de l'ONERA.

Présenté par Sébastien DEFOORT, Responsable de l'équipe "conception multidisciplinaire et avant-projets", ONERA et Enseignant en conception avion, ISAE-SUPAERO.

Sébastien Defoort commence sa présentation en exposant quelques concepts de décarbonation appliqués à l'aviation et traités actuellement à l'ONERA :

- Le secteur aérien contribue pour 2 à 3 % aux émissions de CO₂ et 5 à 6% au niveau des émissions de NO_x et dans la production des traînées de condensation.
- La croissance du trafic aérien se poursuit, cela suggère une incitation forte pour trouver des solutions.

Les leviers pour y parvenir :

- Améliorer encore davantage l'efficacité énergétique de l'avion tout en conservant l'opérabilité (à iso-opération) ;
- Les nouveaux vecteurs énergétiques (carburants d'aviation durable ou électricité ?) doivent faire l'objet de nombreuses investigations.

Il enchaîne ensuite en présentant l'ONERA, établissement public (statut EPIC) qui dépend du ministère de la défense fondé en 1946 qui porte 3 activités défense-aéronautique-espace. L'établissement compte aujourd'hui 1679 ingénieurs, 118 doctorants, dispose d'un budget de 341 M€. Il poursuit en présentant la feuille de route de l'ONERA :

- Contribuer à réduire l'empreinte environnementale des véhicules aériens,
- Contribuer aux nouvelles mobilités,
- Contribuer à établir les nouvelles certifications, etc.,
- Rechercher à améliorer l'aérodynamique par l'optimisation des formes, comme par exemple en augmentant la finesse, en diminuant la masse via les simulations pour identifier des nouveaux profils, des nouvelles formes pour dépasser les finesses actuelles,
- L'emploi et la conception de nouveaux matériaux, composites et matériaux architecturés,
- L'usage des nouveaux carburants.

En matière d'économie d'énergie dans l'aérien, il observe les limites de l'approche incrémentale qui a permis de gagner beaucoup mais on a besoin aujourd'hui de faire des sauts technologiques.

Il donne l'exemple des nouvelles configurations moyen-courrier décarbonées avec l'utilisation de l'énergie électrique comme vecteur de propulsion ultra-sobre. Il illustre le concept en présentant un projet d'avion appelé Dragon à propulsion électrique hybridée disposant d'une

trentaine de moteurs, offrant un taux de dilution supérieure à 30. En répartissant la poussée, via les 30 fans carénés électriques placés sous chaque aile, la solution améliore sensiblement le rendement propulsif. Les moteurs électriques sont alimentés par de l'électricité produite par des turbines situées à l'arrière de l'appareil. Il s'agit d'une technologie de propulsion hybride, puisque le kérosène embarqué serait transformé en électricité. Il présente également les challenges à relever (les dizaines de MW à embarquer posent le problème du système de câblage, de l'isolation électrique pour éviter la création des arcs, le dimensionnement des câbles, la minimisation de l'impact des pertes aérodynamiques liées à l'intégration de ce type de moteur, et enfin une intégration aéro-propulsive innovante. Le gain démontré est de l'ordre de 5 à 10 % d'économie de carburant.

Un autre exemple présenté est le projet Gullhyver ; un avion disposant d'une aile à grand allongement associée à une propulsion à moteur open-fan à combustion d'hydrogène. Il s'agit d'un concept à moyen-terme (espéré en 2040). Les gains attendus sont supérieurs au projet précédent. Dernier exemple, celui du concept de l'aile volante revisité, avec intégration des fonctions de l'avion poussée à l'extrême, notamment une intégration propulsive innovante (ingestion de la couche limite) et une forme offrant un volume plus important disponible pour les réservoirs H₂.

Il conclut son exposé en proposant des pistes pour répondre à la question **quels ingénieurs pour demain ?**

- Ingénieur multicarte et pluridisciplinaire ;
- Centré sur le digital, l'intelligence artificielle, maîtrisant les techniques du jumeau numérique ;
- Créatif en restant sensible aux enjeux de la société.

Enjeux et perspectives des transports d'ici à 2050.

Présenté par Anne de CAGNY, Directrice de la Prospective, ESTACA.

Anne de Cagny commence par revenir sur la situation actuelle des transports en France. Elle présente des statistiques datant de 2021, 861 milliards de voyageurs x km en France avec une part de 84% pour les véhicules particuliers, 10% pour les transports ferrés et 6% pour le bus et une part très faible pour l'avion. En 2022, le trafic passe à environ 1000 milliards de voyageurs x km pour la voiture. Les ménages y consacrent 14% de leur budget. Le transport des marchandises représente 338 milliards de tonnes de fret dont 50% via des poids lourds, le reste en train ou bateau. Les émissions de gaz à effets de serre représentent 130 millions de tonnes équivalent CO₂ (tous gaz à effet de serre compris) dont les parts à l'origine sont 52% pour les voitures, 25% poids lourds, 15% pour les utilitaires légers et l'aérien représente 4% de l'émission.

Elle présente ensuite une prospective à l'échéance 2050/2060 établie par l'ADEME, 4 scénarii ont été établis. Le premier scénario correspondrait à une génération qui prendrait une trajectoire frugale, on consomme peu et on espère l'accroissement des puits de carbone naturels (telle que les forêts par exemple). Le deuxième scénario correspondrait à une prise de conscience territoriale avec des actions de coopération pour favoriser la proximité des échanges en matière de transport des marchandises. Le troisième scénario mettrait en avant la technologie verte et le quatrième serait de faire un pari qualifié de « réparateur », on poursuit le développement des transports et on répare par captation du CO₂ par exemple. Elle détail, le scénario correspondant à une transition sur la mobilité des personnes en France, 2050 serait la date visée pour atteindre un objectif de neutralité carbone dans l'UE.

Après cette présentation, elle explique les conséquences liées à chacun des scénarii.

Le premier scénario engendrerait

- Une baisse de 26% des km parcourus avec davantage de proximité ;
- Un fort retrait de la voiture et de l'avion ;
- Une électrification progressive des voitures.

Le deuxième favoriserait le développement local avec un trafic des marchandises à l'échelle internationale en diminution, une optimisation du remplissage des moyens de transport serait un axe très fort. Le troisième scénario nécessiterait une décarbonation des flottes et du vecteur d'énergie employé. Enfin, avec le quatrième scénario qui correspond au pari réparateur, le véhicule individuel conserve une place centrale. Quel que soit le scénario, il faudra réduire les consommations avec une montée en puissance de la filière bio-kérosène pour l'aérien et la remise au goût du jour du transport vélique pour le maritime (ex. voiliers).

Session 2 : Avants projets rigoureux et pluridisciplinarité

Pour des avant-projets innovants et fructueux.

Présenté par François CARUEL, Directeur de l'Audit Technique et Sponsor de la Filière Expertise, Safran Aircraft Engines.

François Caruel commence par rappeler les grands enjeux de la conception des futures architectures de systèmes propulsifs :

- L'enjeu non négociable de tout programme aérien : celui de la sécurité. Cet aspect requière l'établissement des règlements de certification associés aux innovations majeures en parallèle de leur développement (par exemple pour l'architecture Open Fan en cours de développement qui a fait l'objet d'une autre présentation de l'auteur).
- Les enjeux clients avec les impacts directs dans les zones aéroportuaires (Emissions de NOx, impacts acoustiques), les problématiques de mise en œuvre opérationnelle (maintenance, infrastructures) et économiques (consommation de carburant, coût de possession ou autres modèles économiques).
- Les enjeux environnementaux (émissions de Gaz à Effet de Serre et Analyse du Cycle de Vie pour l'impact environnemental global

Ces grands enjeux s'accompagnent de fortes incertitudes parce que les innovations majeures en cours de développement vont s'accompagner de modifications d'architectures des aéronefs ainsi que de leurs modes opératoires.

Pour y faire face, Safran a mis en place des méthodologies nouvelles au premier rang desquelles, l'Analyse du Cycle de Vie permettant d'évaluer l'impact environnemental global de ses Produits. François Caruel décrit rapidement cette méthodologie basée sur des normes de la famille ISO 14000 et modélisant l'ensemble du cycle de vie du produit complet. L'objectif est d'en déduire des grandes lignes directrices de conception des nouvelles architectures.

Les grandes qualités recherchées dans les équipes Safran pour répondre à ces enjeux ont été présentées. A commencer par le goût du travail en équipe avec une orientation Client/Résultat en s'appuyant naturellement sur une solide appétence technique. Également la curiosité, le goût du partage mais aussi bien sûr la rigueur technique et l'envie d'innover.

L'introduction de nouvelles fonctions telles l'hybridation introduisent le besoin de nouvelles compétences chez un motoriste telles l'électronique de puissance ou les matériaux ou technologies de management thermique associées. Elles induisent aussi le besoin de compétences d'architecte système capable à la fois de spécifier les sous-systèmes, de challenger

leur conception et d'intégrer leurs fonctions et interactions dans un système plus global pouvant parfois aller jusqu'à des interactions au niveau de l'aéronef.

Dans un contexte fortement innovant avec des systèmes de plus en plus complexes, les équipes devront de plus en plus être capables de raisonner d'abord en ordre de grandeur mais aussi de savoir intégrer des contraintes opérationnelles internes et externes très diverses. Les innovations en cours de développement vont demander de la persévérance et un plan de validation clairement établi. Enfin, les équipes Safran cherchent à promouvoir la diversité comme une force motrice d'intelligence collective et attendent de chacun une capacité de conviction et de conciliation des objectifs parfois divergents de tout un chacun.

Au-delà de ces compétences classiques, Safran cherche à développer l'utilisation des données disponibles en exploitation de ses produits au travers de spécialistes du traitement de la donnée mais aussi en déployant cette culture dans l'ensemble des équipes.

Pour répondre à la question, quels ingénieurs pour les transports du futur, il explique.

L'ingénieur doit raisonner en ordre de grandeur, innover (faire émerger une idée, établir un plan de validation, évaluer la vraisemblance d'un résultat).

L'architecture système doit permettre de décliner des spécifications précises en anticipant les besoins (besoin client par ex.)

L'intégration des contraintes opérationnelles complexes (ex. cyber sécurité, navigabilité) doit être pensée. Le leadership et la coopération sont les maîtres mots des activités et l'attitude nécessaire pour mener à bien le projet de développement d'un propulseur.

On cherche un architecte qui écoute et sache respecter les exigences de ses interlocuteurs, qui soit en capacité de challenger et aussi capable de prendre des risques (risques maîtrisés tout de même). Le service digital (Data) doit être mis en support, en appui des ingénieurs métiers avec quelques experts qui supervisent la mise à jour des systèmes de simulation par exemple.

L'acculturation des futurs ingénieurs aéronautiques aux défis de la transition énergétique.

Jean Luc CHARRON, Président de la Fédération Française Aéronautique (FFA).

L'expérience vécue par la FFA dans la phase de participation à la certification du Velis Electro et de son introduction dans la flotte des aéroclubs a fait ressortir le fait que les interlocuteurs de formation ingénieur étaient trop souvent « enfermés » dans leurs connaissances et n'arrivaient pas à intégrer le changement de paradigme que nécessitait la propulsion électrique pour un avion. La formation des futurs ingénieurs doit donc tout en conservant l'acquisition des connaissances de leur spécialité les ouvrir d'une part à la pluridisciplinarité et d'autre part à l'idée que ce qui a été appris peut-être radicalement remis en cause. Cependant la nécessité de l'ouverture aux innovations ne doit pas se traduire par une perte du sens de la réalité des besoins du domaine d'intervention. Une ligne de crête à tenir entre conservatisme et disruption purement médiatique certes difficile à tenir mais nécessaire ».

Transversalité : approches sécurité et environnementale.

Présenté par Nicolas CAZALIS, Directeur General Adjoint, ENAC.

Nicolas Cazalis commence par présenter les domaines d'expertise de l'ENAC. L'école forme au pilotage, à la navigation aérienne et à l'ingénierie. Elle est, à la fois, une école d'ingénieurs, avec un laboratoire de recherche, une académie professionnelle et une école de pilotage. L'ENAC regroupe toutes ces spécificités au sein d'un même établissement. Même si le système

français d'enseignement n'est pas très connu au niveau des étudiants à l'international, les directions des universités étrangères connaissent les formations françaises. Le haut niveau scientifique est reconnu, la proximité avec les entreprises via notamment les stages est appréciée à l'étranger.

Il rappelle l'importance d'être en phase avec les évolutions du domaine. L'exemple des révolutions numériques est abordé. Tous les secteurs sont concernés, elles nécessitent de modifier notre façon de travailler notamment avec les nouveaux acteurs.

L'ingénieur doit également avoir la capacité d'intégrer des problématiques sociétales en élargissant son champ de compétence initial.

Les particularités de l'aviation, des interactions fortes entre les différents acteurs, requièrent une approche holistique qui implique des formations transverses croisées entre elles. Les différents acteurs du monde aérien doivent se côtoyer dès la formation pour plus tard savoir travailler ensemble, se comprendre. Les exemples des entités telles que les compagnies aériennes, les aéroports, le contrôle aérien, les autorités, l'industrie aéronautique et les constructeurs sont mis en avant pour illustrer la nécessité de discussions collectives (via des simulations à mettre en place par exemple). Des rencontres entre les acteurs de l'aérien doivent être organisées dès la formation de l'ingénieur et doivent concerner tous les secteurs.

Sur la question de la sécurité par exemple, à l'ENAC, cela se traduit par des enseignements spécifiques mais aussi par une diffusion dans tous les enseignements de cette problématique. Le but est de développer un réflexe « sécurité » dès le niveau de la formation dans une approche transverse. Ce point est essentiel pour parvenir à innover dans un contexte où la certification doit évoluer pour accompagner les innovations.

La même approche doit être entreprise pour aborder la transition écologique. L'ENAC organise par exemple, dans ce but, un évènement intitulé la rentrée climat, tous les étudiants sont réunis pour aborder les changements climatiques, l'aviation, son impact et les solutions possibles.

Autre aspect, il précise la nécessité de recruter davantage de femmes dans les métiers de l'aviation. Pour promouvoir davantage les métiers de l'aviation auprès des femmes il suggère de communiquer sur les leaders femmes du secteur ou les ingénieures. Accompagner les étudiantes dans leurs études est également une piste à privilégier. Dans ce but, l'ENAC travaille avec des associations nationales ou internationales agissant pour la promotion de l'égalité.

Spécifications et maîtrise des risques.

Présenté par Jacques RENVIER, Ancien VP CFM International, Safran Aircraft Engines.

Spécifications et exigences partage d'expérience

Jacques Renvier présente d'abord la problématique pour établir la spécification du système propulsif dans une approche transversale. Le système propulsif est un ensemble de systèmes interdépendants. Les influences entre ces systèmes interviennent sous 3 formes : une influence directe constituée par le contact physique ou les jeux aux interfaces entre les composants adjacents (Form and Fit), une influence indirecte mais fonctionnelle ne reposant pas sur un contact physique (thermique, vibration, aérodynamique) et les conséquences des usures liées à l'utilisation pouvant jouer sur les deux types d'influence.

Il présente ensuite les différents stades d'un programme de développement depuis la préparation au lancement du programme, la recherche, l'optimisation des technologies, la mise au point de la production jusqu'à la validation du composant intégré sur avion (dont certains aspects requièrent la formalisation de pratique de conception). Ces différents aspects nécessitent la maturation du produit et des technologies ; mais aussi d'établir les spécifications

préliminaires en veillant à respecter les demandes et exigences venant de l'avionneur sous la forme de RFI, des compagnies aériennes, et des autorités de navigabilité.

Le motoriste contribue à optimiser la définition de l'avion par la fourniture des performances et des caractéristiques principales du moteur : performances, dimensions, masses, bruit... C'est un travail itératif à caractère avant-projet explorant les différentes options/architectures à partir de technologies innovantes mais validées, et en coordination avec l'avionneur. Itératif aussi avec les clients potentiels. A l'issue de ces travaux l'avionneur publiera une demande formelle de proposition moteur sous la forme de RFP incluant des spécifications minimales (performances et masse souhaitées, calendrier de certification avion, nombre de moteurs nécessaire à la certification avion...). Les accords avec l'avionneur seront formalisés par la signature d'un document contractuel, le M.O.U. Le processus spécification démarre avec comme objectif de décliner les spécifications au sein des bureaux d'études et ce jusqu'à la pièce élémentaire.

Les spécifications applicables doivent respecter la sécurité / navigabilité de l'ensemble ainsi que des normes environnementales (bruit, émissions). Cet aspect est non négociable. Elles sont rédigées par les autorités de navigabilité qui valident également la méthode de démonstration. Il insiste sur l'accord entre les parties (de type MOU). Il est le point de départ du processus d'intégration du système propulsif avion.

Le processus de développement et certification moteur (conception, fabrication des moteurs d'essais, essais sol et banc volant) dure environ 4 ans et les essais sol commencent au bout de 2 ans. Ils se poursuivront sur une dizaine de moteurs. Une fois la certification motrice accordée les moteurs neufs pour la certification avion sont livrés à l'avionneur qui après 1 à 2 ans d'essais sur plusieurs avions obtiendra à son tour la certification autorisant l'exploitation commerciale du couple avion moteur.

Durant ces phases, s'installent entre les partenaires des échanges continus aux niveaux des données aérodynamiques, dimensionnelles, de charges structurales fonctionnelles, de logique pour permettre l'installation et le fonctionnement de l'ensemble. Cette phase d'intégration doit permettre de tirer le maximum de performance du couple avion moteur

Ces activités sont organisées en plateau :

- Plateau avionneur – Système propulsif chez l'avionneur
- Plateau conception moteur (avec cycle en « V », spécifications, Analyses des spécifications, etc.) sur le motoriste regroupant bureau d'études, méthodes production, essais...et partenaires si besoin.

Il présente ensuite son expérience personnelle pour en identifier des règles utiles pour l'ingénieur. Il est essentiel de, bien comprendre les spécifications, de rechercher un optimum global du système, d'être force de propositions, de combattre l'empilage des marges plutôt que de rechercher une gestion équilibrée, etc. Il précise qu'il faut engager les relations avec les autorités de navigabilité (EASA et FAA) le plus tôt possible dans le programme. Que les plateaux multidisciplinaires favorisent fortement la réussite du projet (échanges techniques au bon niveau d'expertise, etc.).

Les spécifications évoluent en fonction de la maturité des développements avion, moteur, nacelle, et doivent être déclinées et l'impact vérifié.

Il faut aussi s'assurer de la disponibilité des moyens d'essais nécessaires pour la validation des moteurs et des technologies le plus tôt possible.

Point important sur le savoir être et les compétences : maîtrise du socle technique de l'ingénieur, avoir la possibilité de générer des ordres de grandeur « justes » et rapidement, coopérer en créant des consensus, savoir mobiliser et convaincre.

Savoir prendre des risques maîtrisés, savoir penser besoin avant de penser solution...

Maîtriser l'anglais pour échanger, négocier.

Avant de conclure sur l'importance du socle technique que l'ingénieur doit posséder, de la curiosité, de l'enthousiasme et enfin de la capacité à coopérer en construisant une relation de confiance avec ses partenaires. Un programme avion /moteur c'est une coopération de 5 à 6 ans de conception et certification mais aussi 30 à 40 ans de coopération durant l'exploitation commerciale, la vie d'un programme !

Session 3 : Démonstrations critiques, développements rapides et efficaces, intégration des équipements.

Nouvelles dimensions de l'ingénierie à l'heure du NewSpace.

Présenté par Jérôme VILA, Chef de Programme chez MaiaSpace, Académicien en Ingénierie Spatiale à l'IAA (International Institute of Astronautics).

Jérôme Vila est à l'origine de la création d'une entreprise MaiaSpace qui vise le développement d'un mini-lanceur réutilisable (spin-off d'ArianeGroup)

Il a commencé par témoigner de son expérience et de son évolution durant sa carrière au sein de la « galaxie Ariane » pour le CNES, l'ESA ou ArianeWorks. Il a contribué à de nombreux programmes dont certains ont été arrêtés (ex. Ariane 5 ME), en attendant le lancement d'Ariane 6. Il a d'abord occupé des fonctions d'ingénierie dans les différents programmes du CNES avant d'évoluer vers des missions de réalisation d'avant-projet en participant à la création de l'unité ArianeWorks unité consacrée aux essais puis en fondant MaiaSpace. La formation d'ingénieur offre cette possibilité de permettre d'évoluer du bureau d'étude aux essais jusqu'à offrir la possibilité d'entreprendre par création d'une entreprise.

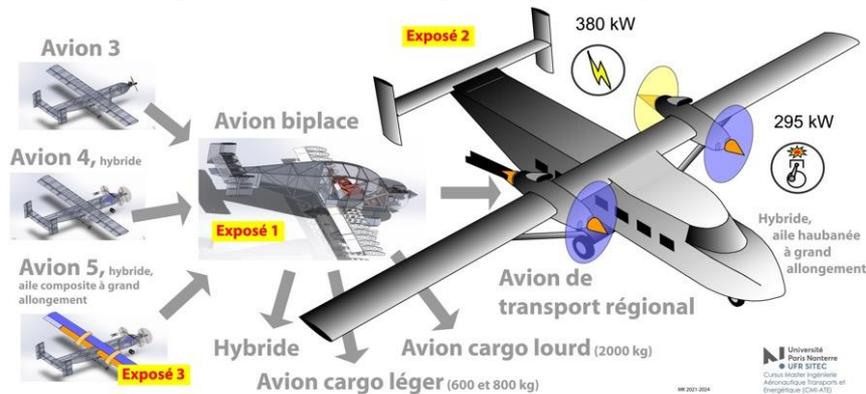
La création d'entreprise est génératrice de complexité organisationnelle de parts les volumes d'heures x ingénieur à gérer, les aspects budgétaires et le temps requis au développement. Mais aussi une complexité du point de vue technique surtout lorsqu'il s'agit des systèmes sur-optimisés. La nouveauté, l'innovation qui accompagne les évolutions du domaine aérospatial nécessite une grande vitesse de réaction (au détriment de la qualité des solutions adoptées pour l'innovation). Space X est un exemple de champion en termes de vitesse de réponse. Les profils d'ingénieur recherchés par MaiaSpace, sont des personnes qui disposent d'une expérience, d'une capacité à faire des essais et des fabrications. Les formations d'ingénieur française proposent des programmes qui répondent à ces attendus.

Pour répondre à la question quels ingénieurs pour les transports du futur ? il explique que chercher la rapidité oblige à faire des essais pour passer à la réalisation au plus vite. Le travail en équipe est plus important que l'expertise personnelle (solidarité, caractère souple sont les qualités les plus importante). Il conclut en comparant le profilage des recrues aux qualités attendues par les Navy Seals, l'intérêt étant porté en direction de profils au spectre le plus large possible dont le caractère est adapté pour travailler en équipe.

Réalisations industrialisées dans un esprit de simplification et d'économies d'énergies.

Présenté par Julia Chmiel, Inas Ait Kettout, Ryan Keller, Camille BARBIER, Alexandre SABENE, Alexandre FERNANDEZ MARTINS, étudiants du CMI-ATE.

Les étudiants présentent les projets CMI-ATE suivants : avions 3 (démonstrateur hybride à moteurs non liés), avion biplace, avion de transport régional (hybride à moteurs non liés).



Un film disponible à l'adresse suivante est projeté :

Voir le document : Colloque 3AF MAE CMI-ATE 2024_01_18 Session 2

Décarbonation des transports : entre acceptation sociale et faisabilité technique.

Présenté par Michael HADDAD, Directeur des Innovations et des Partenariats, Alstom Group.

Michael Haddad, indique que l'exposé traitera de la décarbonation des transports et il suggère au début de son discours l'ouverture de l'esprit de l'ingénieur au-delà de la dimension technique pour prendre en compte les enjeux sociétaux.

Il présente les scénarios établis par l'OCDE et l'AIE pour atteindre la neutralité carbone en 2050. Le constat est que le secteur du transport serait responsable de 25% des émissions GES. Les leviers envisageables pour réduire les émissions seraient dictés par l'équation de KAYA :

- Réduire la demande en transport
- Opérer un report modal vers un mode de transport moins carboné
- Décarboner l'énergie
- Augmenter le taux de remplissage des véhicules
- Améliorer l'efficacité énergétique du transport

Il fait référence à la Thèse de doctorat d'Aurélien Bigo qui démontre que ces 25 dernières années, les émissions liées au transport ont augmenté sans interruptions car les gains en efficacité ou l'introduction de biocarburants n'ont pas réussi à compenser la hausse de la demande en transport tirée à la fois par l'augmentation de la population mais aussi du PIB qui joue défavorablement sur le report modal (plus d'aérien et de véhicules individuels). Les taux de remplissage des véhicules restent faibles dans la plupart des cas (1.6 pour la voiture en Europe).

L'impact CO₂ par mode de transport est ensuite discuté. Le principal coupable serait la voiture sur le trajet domicile-travail. Le routier (camion et voiture) représente près de 80% des

émissions du transport en France. Le maritime est essentiellement lié au fret longue distance et reste un moyen efficace d'acheminer les marchandises sur de longues distances. L'aérien a un impact faible devant l'automobile au total et par passager quand comparé au SUV mais il est socialement injuste car seule une minorité de la population mondiale effectue l'essentiel des vols. L'impact du ferroviaire est négligeable car il est par nature très efficace en énergie (faible résistance à l'avancement) et largement électrifié.

Pour choisir leur mode de transport, les voyageurs mettent d'abord la priorité sur le prix et l'expérience passagers (vitesse, confort, fiabilité, flexibilité, sécurité...) avant les qualités environnementales.

La décarbonation de l'énergie serait le levier avec le moins d'impact social mais la batterie contient 40 à 50 fois moins d'énergie par kg que le kérosène ou le diesel, la transition est donc complexe surtout pour l'aéronautique où le poids est essentiel ; il faudra donc réserver les carburants liquides neutres en carbone (biocarburants, carburants de synthèse) à ce secteur en priorité.

Il présente succinctement le nouveau TGV M qui entrera en service en 2025 en France qui présente une parfaite synthèse d'un véhicule à faible impact environnemental : 20% plus efficace en énergie et 20% plus capacitaire que la génération précédente avec en plus une maintenance plus simple.

Il répond à la question : quels ingénieurs ? en expliquant l'évolution des profils de compétences attendues pour l'ingénieur.

Par le passé un profil en « I », d'expert ;

Aujourd'hui un profil en « T », associant le « I » de l'expert à la transversalité via le développement des soft Skills (créativité, prise de risque, communication, empathie)

Demain un profil en « M » avec plusieurs expertises et la capacité à les interconnecter

Il répond à la question : quels ingénieurs ? en présentant différents profils pour l'ingénieur.

Profil en « I », expert ;

Profil en « T », développement des soft Skills (créativité, prise de risque)

Profil en « M » expert multi-domaines capable de les connecter

Session 4 : La formation des acteurs : clé de l'innovation et de la ré industrialisation.

Transmission du savoir par l'histoire.

Présenté par Mathieu BEYLARD, Responsable Planétarium, Musée de l'Air et de l'Espace.

Mathieu Beylard est astrophysicien et ancien journaliste d'Air et Cosmos, il consacre son activité à la transmission du savoir par l'histoire en tant que responsable planétarium du Musée. Il commence par présenter une situation qui traite de la nécessité de connaître les travaux des anciens ingénieurs. Le Musée a pour missions la médiation à destination des publics et la transmission des connaissances. Le Musée s'implique aussi dans l'accompagnement des formations d'ingénieurs via par exemple le défi Aérospatial étudiant (concours européen d'étudiants). Il reprend l'exemple d'un avion porteur d'engin volant qui avait été proposé par des élèves ingénieur de l'UTBM. Cette proposition était comparable avec celle de l'avion Leduc aéroporté par un avion porteur avant largage. Cet avion fait partie des collections du Musée et les candidats avaient pu le découvrir immédiatement au Musée. Il présente ensuite les objectifs du partenariat du Musée de l'Air et de l'Espace avec l'UPN (Université Paris Nanterre). Contribuer à former les chargés de médiation du musée, à former de futurs ingénieurs et à accueillir des stagiaires sont les principaux objectifs. L'étude d'un système de navigation est choisie pour illustrer les propos. Étudier son principe avec en perspective de l'expliquer avec le regard de l'ingénieur pour le présenter ensuite au public est une réalisation concrète des

objectifs. L'exemple d'instruments de navigation est cité AstroGraphe qui fonctionnent avec des couples d'étoiles pour faire le point, un sextant périscopique est aussi présenté. Ce dernier était utilisé jusque dans les années 70. Une sortie pour l'utilisation du sextant était pratiquée sur le fuselage de certains exemplaires long courrier de Boeing de l'époque. Il présente ensuite un instrument de positionnement astronomique approximatif au fonctionnement encore méconnu du Musée. Peu précis (à une centaine de km près) il avait été vite supplanté par une autre technologie. Il pourrait faire l'objet d'une étude. Il enchaîne en présentant les possibilités d'interaction avec le Musée, des visites sont organisées avec le CMI-ATE par exemple. L'enseignant accompagnant la visite peut interpréter à sa façon les machines et les appareils présentés aux étudiants. Il existe aussi des collections non présentées au public mais disponibles comme par exemple celle de l'avion télécommandé qui ne permettait malheureusement pas de naviguer. Certains instruments de cet appareil sont répertoriés dans les collections non-accessibles au public. Il y a aussi un département de recherches et de documentation. L'exemple de la documentation technique d'un avion est présenté pour illustrer les propos. Il fait ensuite un appel à contribution aux participants, en leur proposant de conserver leurs documents de conception des ingénieurs aéronautiques pour qu'ils puissent plus tard être archivés et présentés à des étudiants par exemple. Il demande également une assistance pour mettre en œuvre le patrimoine numérique (appel à la conservation des documents numériques et aussi à la conservation des logiciels qui les accompagnent pour pouvoir plus tard les exploiter en cas de besoin).

"Do to think" à l'Université de Technologie de Belfort-Montbéliard (UTBM).

Présenté par Hugues BAUME, Ingénieur-designer, Enseignant-Chercheur en design-industriel, Formation Mécanique et Ergonomie de l'UTBM.

Hugues Baume introduit son exposé en définissant son titre "Do to think" ou comment faire des faiseurs (makers). Il présente ensuite son établissement (UTBM) en quelques chiffres, l'UTBM appartient au réseau des 3 Universités de Technologie qui proposent 9 spécialités d'ingénieurs (formation à 5 ans post-bac) en mécanique et ergonomie, énergie, génie électrique, mécanique et transport logistique industrielle. L'école compte 7000 diplômés, et ses 3 unités mixtes de recherches du CNRS appuient sa recherche.

Il met le focus sur la formation qu'il dirige : mécanique et ergonomie qui a pour vocation à former un ingénieur concepteur mécanicien centré sur l'humain avec des compétences en ergonomie, capables d'innover en intégrant le facteur environnemental.

Formation très fortement orientée projet (50 % des modules d'enseignement sont concernés, les sujets sont proposés par les industriels), e-portfolio est l'élément privilégié pour dématérialiser la sauvegarde des travaux réalisés par les étudiants.

Il décrit ensuite les projets fil rouge, 3 à 4 projets par semestre en 4^e et 5^e année ainsi que la réalisation en atelier, compétences de base pour produire une visualisation physique du concept à démontrer. Il insiste sur la multiplicité des projets organisés par domaine, ne déroulant pas systématiquement l'ensemble du schéma de développement.

Il présente ensuite les objectifs : mise en situation concrète de l'étudiant sur un projet ambitieux pour acquérir de l'autonomie. Faire la preuve du concept d'un projet se déroulant sur plusieurs années de formation nécessite de capitaliser les connaissances pour le passage des projets d'une promotion à une autre. Pour illustrer, il présente un projet d'avion hydrogène (H2-Plane) utilisant une chaîne de propulsion hybridée. Les conceptions nécessitent de disposer d'un atelier mécanique. Il présente une initiative de l'école pour favoriser l'innovation, le Crunchlab. Il s'agit d'un événement qui rassemble les étudiants de l'école toutes spécialités mélangées ; des

équipements regroupés pour matérialiser les concepts, (la Crunch Factory) qui mutualise des moyens de production pour faire de la petite série. Ces initiatives contribuent à former un ingénieur pluridisciplinaire capable de travailler en équipe sur des projet qui dépassent le cadre de sa spécialisation initiale.

La formation des étudiants par les partenariats. La simplification des produits et des organisations, clé de la compétitivité des entreprises industrielles.

Présenté par Claude WALTER, Dirigeant de la société Rythmes & Sons, partenaire industriel des projets du CMI-ATE.

Il a d'abord présenté l'entreprise qu'il dirige Rythmes et Sons et qui compte une trentaine de salariés pour 30 M€ de Chiffre d'Affaires. La société est spécialisée dans la fabrication de contenants à forte valeur ajoutée, tels que la réalisation de mobiliers d'orchestre, domaine dans lequel son expertise et savoir-faire sont reconnus. Il explique ensuite comment l'entreprise en est arrivée à s'intéresser au développement d'un avion. Il y avait dans son entourage des personnes intéressées au sujet de l'aérien et son entreprise pouvait apporter par ses moyens et techniques de fabrication des possibilités innovantes. De cet intérêt commun est né une convergence pour créer une entreprise (HKW) qui avait pour ambition la fabrication d'un avion léger biplace. Un film illustrant les différentes phases de la mise au point de l'avion est ensuite diffusé.

Voir le document : Colloque 3AF MAE CMI-ATE 2024_01_18 Sessions 4-5

[Session 5 : Expériences de grands projets.](#)

A 380, quelques surprises pendant la mise au point.

Présenté par Claude LELAIE, ancien directeur des essais en vol d'Airbus.

Il a témoigné de son expérience en tant que directeur des essais en vol lors de la mise au point d'un avion. La mise en service nécessite de corriger toutes les anomalies rencontrées pendant le développement, que ce soient des erreurs de calcul, de conception ou des événements imprévisibles.

Il a donné quelques exemples des principales difficultés rencontrées pendant les premiers vols de l'A380.

- Vol 1 – Le train ne s'est pas verrouillé en position rentrée. En effet, l'avion étant flexible, les réglages faits au sol se sont révélés incorrects.
- Vol 2 – Lors d'une accélération en palier à 10 000 ft, il y a eu une décompression explosive. Elle était due à une erreur de conception des calculateurs de pressurisation. A la fin du vol les trains centraux ne sont pas sortis immédiatement.
- Vol 3 – Les premiers essais de décrochage ont donné de très bon résultat du point de vue performances. Cependant, les tourbillons sur la voilure créaient des charges très élevées sur l'empennage. Il s'agissait en fait d'un faux problème car l'étalonnage des capteurs avait été retardé à la demande des dirigeants du programme.
- Vol 5 – Très bon vol à haute altitude démontrant que l'avion était bien né.
- Vol 6 – Mesure de la consommation en croisière, la température de la cabine chute à 0°C. Il s'agissait d'un bug dans les calculateurs d'air conditionné.

- Vol 9 – Vérification du taux de montée avec un moteur coupé, et les 3 autres pleins gaz, pour l'optimisation de la configuration aérodynamique. Très forte consommation d'huile lors du passage du régime ralenti au régime maximal, problème rapidement corrigé par Rolls-Royce. Lors des mises en virage rapide on atteignait 90 % des charges limites sur la dérive. Elle a dû être renforcée.

D'autres informations : Les essais en vol de l'Airbus A380, Edition JPO.

Il conclut en faisant des recommandations. L'avion doit être livré avec zéro défaut. Les compagnies aériennes n'acceptent plus les défauts et les informations des réseaux sociaux pourraient avoir un effet nuisible. Pour cela le constructeur tient à jour une liste des anomalies ; plusieurs milliers sont relevées. Il faut détecter ces anomalies le plus tôt possible afin d'avoir un temps suffisant pour trouver des solutions Par ailleurs la production des avions de série progresse pendant la mise au point et il faut éviter d'avoir à rétrofiter des modifications car c'est onéreux. Il est recommandé d'utiliser des bancs d'essais pour détecter rapidement et en amont certaines anomalies.

Malgré tous les ennuis la mise d'un avion est un sujet qui l'aura occupé avec passion.

Maitrise des grands programmes

Présenté par Jean-Claude HIRONDE, Ancien Ingénieur en Chef du Rafale et du Falcon F7X, Dassault Aviation.

Jean-Claude Hironde, indique que son objectif est de présenter **sa vision** sur les **facteurs clefs** qui conduisent à la **réussite des grands programmes**.

Il commence par définir un grand programme, notamment en termes de grands nombres d'individus impliqués, de nombreuses Sociétés qui participent, mais aussi de durée et de coût. Il précise aussi le caractère nécessairement **novateur** et la **complexité** associée aux grands programmes.

Pour illustrer la durée d'un **grand programme d'avion civil**, il rappelle l'historique du programme **A320 d'Airbus** qui débute en 1984, la certification Air France est acquise en 1993, suivront l'A330 et l'A340 en 1999, permettant ainsi à Airbus de rejoindre Boeing pour constituer un duopole mondial de constructeurs.

Pour illustrer la durée d'un **grand programme d'avion militaire**, il rappelle l'historique du programme **Rafale** : le lancement d'un avion expérimental **ACX** en 1983, avec un premier vol de ce démonstrateur appelé (entre temps) **Rafale A**, en 1986.

En 1988, la France lance le **développement du Rafale de série**, avec la fabrication de 4 protos, les premières livraisons à la Marine nationale en **2002** et à l'Armée de l'Air en **2006**, puis à l'exportation, à partir de 2015.

Le premier facteur clé est la **Spécification** qui doit être **gelée dès le début**, avec l'accord préalable de **l'utilisateur final**. Une Simulation Avancée Système (VASYS) permet de concrétiser cet accord, sans ambiguïté. Le maître d'œuvre (MO) est celui qui met en place le contrôle et l'exécution du programme. L'architecte industriel (AI), en charge de la réalisation du programme, coordonne le développement du système complet, au niveau technique : c'était son rôle chez Dassault Aviation.

La spécification doit tenir compte du positionnement du projet, dans son environnement concurrentiel et technique : il montre que le projet FNX (du futur Falcon F7X) se plaçait dans le **créneau resté libre** au-dessus des « **Large Aircraft** » type F900, avec un range de **5000 Nm** et en dessous des « **Global Aircraft** » type GEX et GV, avec un range de **6500 à 7000 Nm**. Dans ce créneau, le F7X a le meilleur rapport range / prix du marché, avec un range de 6000Nm.

Quant à lui, le Rafale, est un projet d'**avion polyvalent** : seul, il doit remplacer **6 types d'avions Air et Marine** et décline donc une version Marine qui le place à un très haut niveau concurrentiel. Le développement d'une **version Air/Marine unique** a constitué une contrainte extrêmement complexe, mais très bien maîtrisée. Il a fallu faire face à des spécifications, non communes avec celles des 4 autres pays européens, qui ont développé le Typhoon.

La planification des grands programmes s'effectue en trois phases :

Une **phase A**, menée en interne chez l'AI, permet de définir la spécification (en termes de Performances, Coûts et délais) constituant la base de **l'appel à proposition RFP** (Request For Proposal) envoyé aux coopérants potentiels. Cette phase est fondamentale pour le choix de coopérants et des sous-traitants.

Le choix de tous les coopérants permet le démarrage d'une **phase B**, pendant laquelle un **Avant-Projet** doit être réalisé avec l'ensemble des équipes représentant tous les Coopérants, en **plateau physique, en un même lieu**. Cette phase permet de fixer des **objectifs acceptés par tous les acteurs** qui visent **l'optimisation globale** du Programme. Elle se termine par une **PDR** (Preliminary Design Review) qui acte l'accord de tous.

Enfin, une **phase C** permet la déclinaison détaillée du **Projet** par tous les Coopérants, utilisant les mêmes outils informatiques et une **BDD** (Base De Données) partagée en temps réel, avec une « arborescence produit » ou Bill Of Materials (**BOM**) permettant de maîtriser toutes les interfaces. A la fin de cette phase, une **CDR** (Critical Design Review) permet le lancement de la fabrication industrielle.

Pendant les 3 phases, il souligne l'importance du **plan de maîtrise des risques** et de la nécessité de tenir à jour une **gestion de la configuration** très rigoureuse.

Il revient sur le passage du stade de la démonstration du FNX à celui de la mise en service de l'avion d'affaires (Falcon F7X), en expliquant la nécessité de parvenir à choisir les bons coopérants, partenaires et sous-traitants pour mener à bien l'industrialisation. Le 7X aura été le premier avion d'affaires avec des commandes de vol fly-by-wire, une technologie novatrice que Dassault-Aviation avait développée et utilisée sur Rafale. Il présente ensuite différentes vidéos illustrant des phases importantes et critiques des essais au sol et en vol.

Il présente tout l'intérêt de parvenir à **bien travailler ensemble**, pour réussir **UN** avion globalement optimisé. Cette nécessité requière donc de pouvoir partager des données et de les intégrer dans une maquette numérique. La mise en commun des données, via une méthode entièrement digitale (Digital Mock Up - **DMU**), mise en place par Dassault, a permis de réaliser cet objectif. Le projet Falcon F7X est devenu **LE** projet commun pour tous les coopérants, environ 4000 personnes réparties dans le monde. Les 18 Partenaires étaient réunis sur un même **plateau Virtuel**, via un réseau privé dédié « F7X » en fibre optique, à très haut débit. Le partage numérique, offert par la **mise en œuvre journalière** dynamique de cette maquette numérique, a permis de définir toutes les pièces de l'appareil (avec le logiciel CATIA de Dassault Systèmes), depuis le fuselage, la voilure, les équipements, les tuyaux, les câblages,..., et toutes les fixations jusqu'au moindre boulon ou rivet. Le Falcon F7X devient ainsi le **premier avion de transport civil au monde** certifié par la FAA et l'EASA, **sans plan « papier »** : la définition est intégralement dans la DMU, sous forme numérique.

Il poursuit en rappelant l'importance de la **rigueur**, en invitant les ingénieurs à suivre deux paramètres essentiels (pour l'aéronautique) : la **masse** et la **trainée**. Il précise, qu'en cas de

difficulté, ne rien dire, en pensant que « ça va s'arranger » est le pire à faire. Les échecs sont inévitables : ils font même partie du métier. Ce qui compte, ce n'est pas de trouver le coupable de cette erreur, mais de motiver toutes les équipes pour **trouver la solution**.

Il insiste sur l'importance de respecter les différents **niveaux de maturation technologique** (TRL) des innovations choisies, de construire une **analyse du risque** accompagnée d'un **plan d'actions de réduction** du risque, décliné régulièrement.

Il ajoute que son exposé a été principalement **centré sur la maîtrise Technique** des Grands Programmes. Cependant, il ne faut pas oublier de bien gérer aussi la **Production** et d'anticiper **la Maintenance** chez les futurs clients.

Enfin, il souligne que les Grands Programmes sont une grande aventure Technique, **mais aussi une grande aventure Humaine** qui nécessite la **maîtrise des ressources humaines**, facteur indispensable pour réussir ces programmes.

Enfin, s'adressant particulièrement aux jeunes auditeurs de ce forum, qui se destinent à une carrière d'ingénieur, il conclut : « Face au défi de la décarbonation des Transports (notamment de l'Aéronautique), il y a une **formidable opportunité** pour les ingénieurs : prenez votre destin avec ambition, soyez audacieux et tenaces, ayez l'envie d'innover , n'ayez pas peur et osez...mais veillez à bien respecter les facteurs clés de la réussite que je viens de vous présenter ».

4. Table ronde, chairman Michel Polacco

Un tour de table est animé par Michel Polacco. Les participants sont invités à s'exprimer sur le sujet du colloque.

5. Conclusion du colloque

Ce colloque a été très dense, voire trop dense pour beaucoup, et avec des contraintes extérieures non programmées : neige et verglas. Malgré cela, 95 % des inscrits étaient présents et ont participé à cette journée avec fort intérêt. Les participants ont particulièrement noté la diversité et la qualité de tous les orateurs. Les nombreux étudiants présents ont apprécié ce transfert de compétences mais surtout de savoir-être de personnes très expérimentées vers eux afin de les positionner, au mieux, pour aborder leur carrière professionnelle.

Ce colloque est original car seulement un peu de technique mais beaucoup de données sur les besoins de formation et de comportement pour répondre efficacement aux besoins des transports du futur (notamment).

La 3AF remercie ses partenaires : le CM-ATE de l'Université de Nanterre et le musée de l'Air et de l'Espace du Bourget qui ont été la garantie du succès de ce colloque par leur formidable implication. Comme il serait dommage d'arrêter cette collaboration, nous allons immédiatement nous mettre au travail pour proposer une suite et donc vous donner rendez-vous, en début d'année prochaine dans cet illustre Musée du Bourget.

6. Synthèse des recommandations à retenir pour le jeune ingénieur des transports

Il ressort des présentations et des discussions avec les intervenants quelques règles et recommandations fondamentales à suivre par l'élève ingénieur pour bien démarrer sa carrière

dans le domaine des transports. Elles sont ici organisées en trois items principaux :

- **Pour bien se préparer à concevoir**
 - Se former pour disposer d'un profil pluridisciplinaire, un atout majeur
 - Avoir de la créativité, en lien avec les enjeux sociétaux
 - Savoir évaluer et raisonner, en ordre de grandeur
 - Être en phase avec les évolutions du domaine
 - Suivre les problèmes rencontrés et communiquer sur les difficultés
- **Pour garantir la sécurité de sa conception**
 - Prendre en compte, dès le début, de la sécurité, élément non négociable
 - Considérer la sécurité environnementale, la cyber-informatique et la navigabilité comme fondamentales
 - Analyser le risque et l'accompagner d'un plan d'actions
- **Pour le bon déroulé de son projet**
 - Respecter les exigences clients
 - Maîtriser les aspects techniques, bien gérer la production, anticiper la maintenance
 - Garantir une bonne communication entre les partenaires du projet
 - Être capable de « challenger », de prendre des risques, mais des risques maîtrisés
 - Mettre l'accent sur le digital, l'intelligence artificielle, la maîtrise de la technologie du jumeau numérique

7. Liens web du support des présentations

Voir les présentations disponibles :

- Colloque 3AF MAE CMI-ATE 2024_01_18 Session 1
- Colloque 3AF MAE CMI-ATE 2024_01_18 Session 2
- Colloque 3AF MAE CMI-ATE 2024_01_18 Session 3
- Colloque 3AF MAE CMI-ATE 2024_01_18 Sessions 4-5