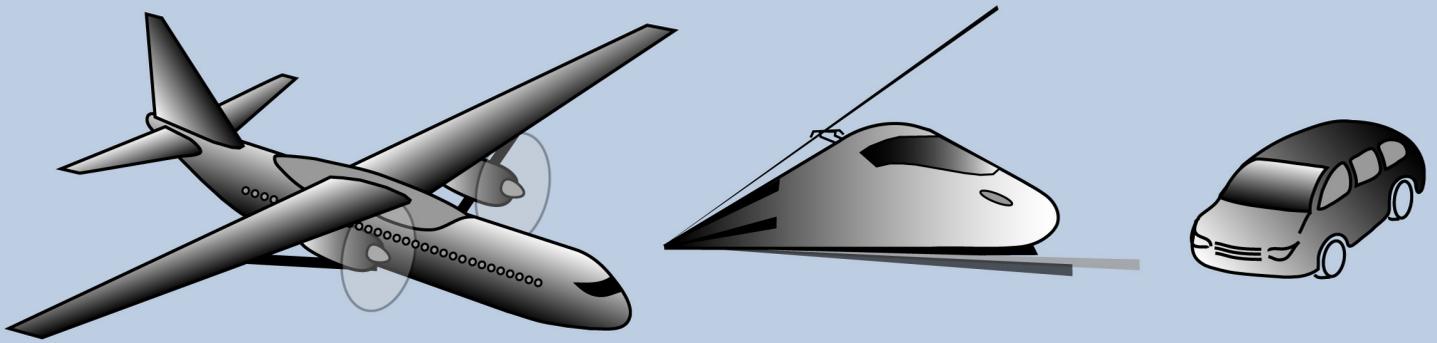
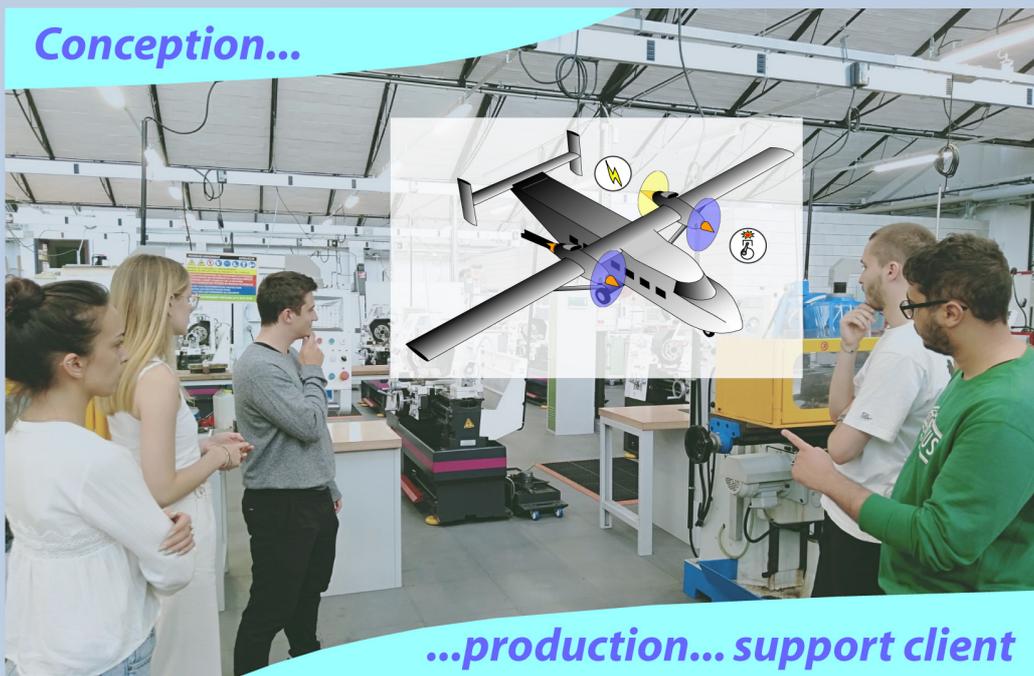


# Colloque

## Les transports de demain : Quels ingénieurs pour de nouvelles ambitions ?



**Musée de l'Air et de l'Espace - Paris le Bourget**  
**18 janvier 2024 de 8h30 à 18h30**



Ce colloque est organisé par :



Inscriptions, site de la 3AF :

<https://www.3af.fr/agenda/les-transports-de-demain-quels-ingenieurs-2282>

## Colloque

### Les transports de demain: quels ingénieurs pour de nouvelles ambitions?

Musée de l'Air et de l'Espace - Paris le Bourget 18 janvier 2024 de 8h30 à 18h30

Ce colloque est organisé par :



#### 8h Accueil

#### 8h30 Allocutions de bienvenue 8h30-9h00

**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).

**Vincent CAPO CANELLAS**, Sénateur de Seine Saint Denis.

#### Chairman des sessions

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

#### 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 Général 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 Sabéné, Alexandre Fernandes Martins, Camille Barbier**, étudiants CMI-ATE.
- **Décarbonation des transports : entre acceptation sociale et faisabilité technique.**  
**Michael Addad**, 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.
- **Maîtrise des grands programmes.**  
**Jean-Claude HIRONDE**, 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.

**Jean-Michel DUREPAIRE**, Directeur Général, ESTACA.

**Jacques RENVIER**, Ancien Senior 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.**

## Les transports de demain: quels ingénieurs pour de nouvelles ambitions?

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, environnementaux, apporter une forte réduction de la production de CO2. Les exigences économiques et formations correspondantes doivent maintenant être très intimement associés 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.

### Comité scientifique & organisation.

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

**Michel KIEFFER**, Chargé de la spécialisation Aéronautique, Transport et Énergétique, Université Paris Nanterre (CMI-ATE).

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

**Alain MARIANNE**, Marine & Offshore Industry Solution Technical Senior Manager, Dassault Systèmes.

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

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

### Inscription sur le site de la 3AF.

<https://www.3af.fr/agenda/les-transports-de-demain-quels-ingenieurs-2282>

Prix d'inscription : 70 €.

### Venue au Musée de l'Air et de l'Espace.

<https://www.museeairespace.fr/visiteurs/acces/>

3, Esplanade de l'Air et de l'Espace.

93350 Le Bourget



# La transmission du savoir par l'histoire

ARRIVEE

DEPART



La formation des ingénieurs d'une époque se base sur la connaissance des travaux de leurs aînés et nous devons mettre à même les ingénieurs d'aéronautique de l'avenir de prendre, au contact avec les réalisations de l'aéronautique actuelle, les leçons les plus fructueuses à leur éducation.

Albert Caquot, ingénieur, 7 décembre 1918  
note pour la création d'un conservatoire pour l'aéronautique



# Les mission d'un musée

- Une mission de médiation à destination des publics
- Une mission de conservation à destination des publics, des chercheurs et des ingénieurs



©Vincent Pandellé / Musée de l'Air et de l'Espace-Le Bourget



# Le Défi Aérospatial Étudiant

Le Défi Aérospatial Étudiant

Genèse 2023-2024 Inscriptions Mon Défi Résultats FAQ Partenaires Contact

Ajouter à votre cursus un projet à la frontière de l'espace !

En partenariat avec de grands noms de l'aéronautique et du spatial européens :

ACE ananegroup DASSAULT AVIATION esa MUSÉE AIR + ESPACE

Bienvenue sur le site du Défi Aérospatial Etudiant

Les inscriptions pour le 18<sup>ème</sup> exercice sont fermées.

Pour ce nouvel exercice, nous avons introduit la possibilité de travailler sur un véhicule orbital desservant l'orbite basse, tout en gardant les deux véhicules suborbitaux proposés précédemment. Comme chaque année, les lots de travaux ont été revus.

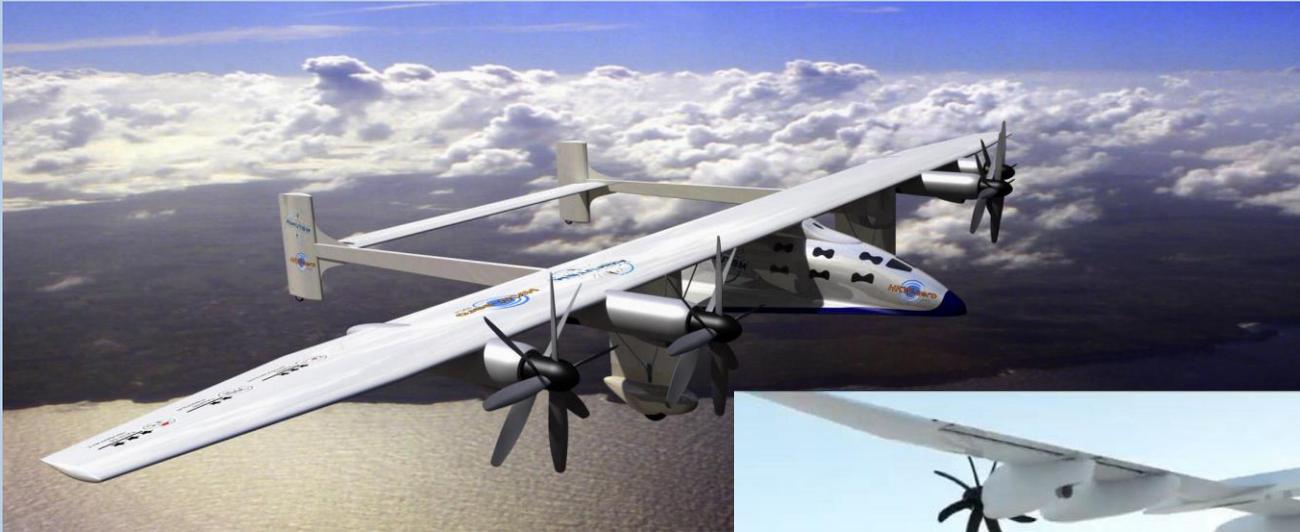
Le site internet a été modifié pour créer un onglet "Mon Défi" qui devrait aider les participants à trouver plus facilement les informations utiles au cours de l'exercice. Un onglet "FAQ" sera bientôt mis en service.

Dates-clés pour 2023/2024 :

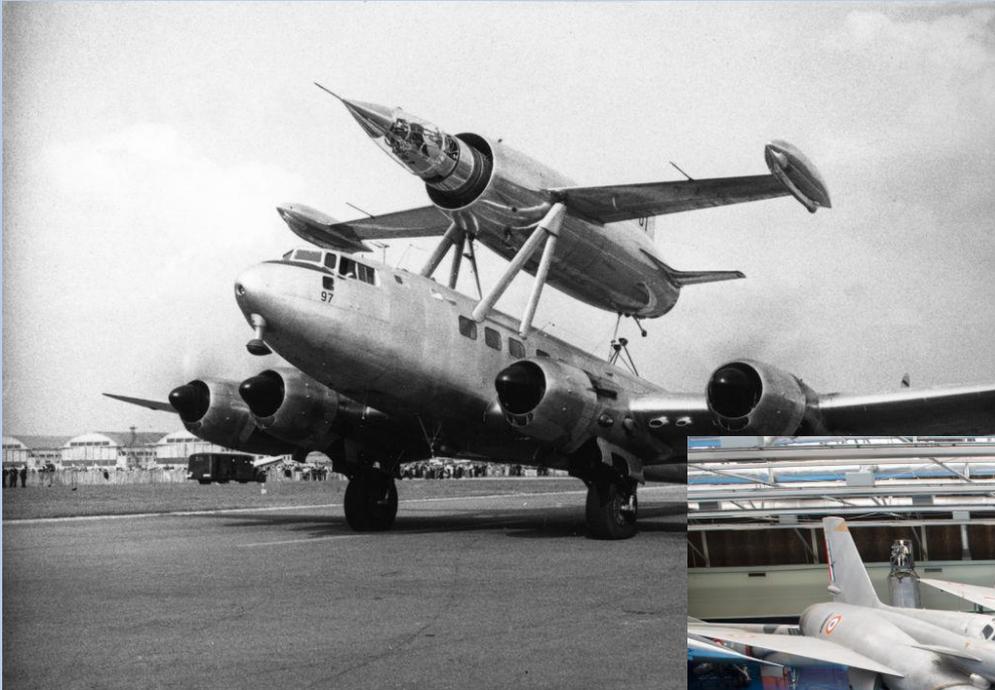
- 3 au 31 octobre 2023 : période d'inscription
- 16 novembre 2023 : date limite d'envoi de la Fiche de Lot de Travaux
- 14 décembre 2023 : date limite d'envoi du premier rapport d'avancement
- 10 janvier 2024 : date limite de validation par les Experts
- 29 février 2024 : date limite d'envoi du second rapport d'avancement
- 7 mars 2024 : date limite de réponse des Experts
- Entre le 11 et le 15 mars 2024 : webinar "Journée Suborbitale"
- Entre le 11 et le 23 mars 2024 (à confirmer) : possibilité d'un créneau avec un Expert
- 4 avril 2024 : date limite d'envoi d'un résumé de 10 lignes sur le travail effectué
- 18 mai 2024 : date limite d'envoi du rapport final, du poster et du résumé bilingue



# Le Défi Aérospatial Étudiant



© Michel Kieffer - UTBM



musee\_de\_l\_Air\_et\_de\_l\_Espace-Le\_Bourget-Henri\_Beaubois



DR musee\_de\_l\_Air\_et\_de\_l\_Espace-Le\_Bourget

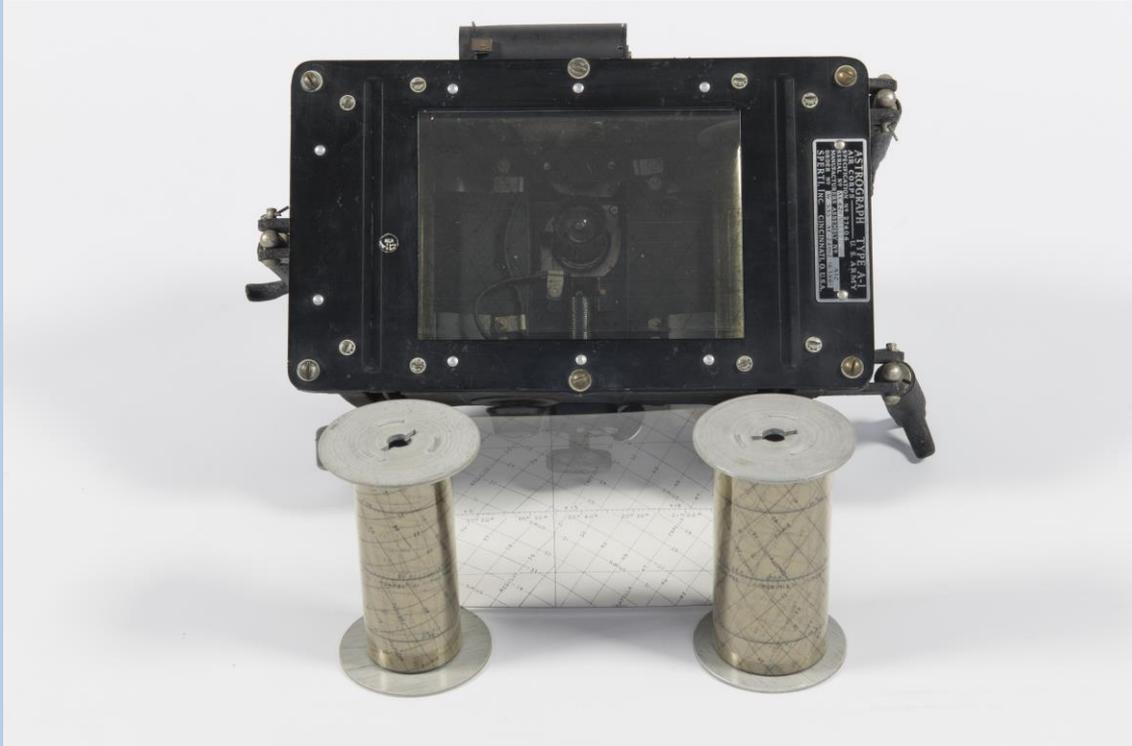


# Le partenariat musée – CMI-ATE

- Former les chargés de médiation du musée
- Former les futurs ingénieurs
- Accueillir des stagiaires



# Le partenariat musée – CMI-ATE



©Vincent Pandellé / Musée de l'Air et de l'Espace-Le Bourget



# Le partenariat musée – CMI-ATE



© Mathieu Beylard



# Le Défi Aérospatial Étudiant



© Mathieu Beylard



# Les ressources du musée

## Les expositions



©Vincent Pandellé / Musée de l'Air et de l'Espace-Le Bourget



# Les ressources du musée

## Les collections

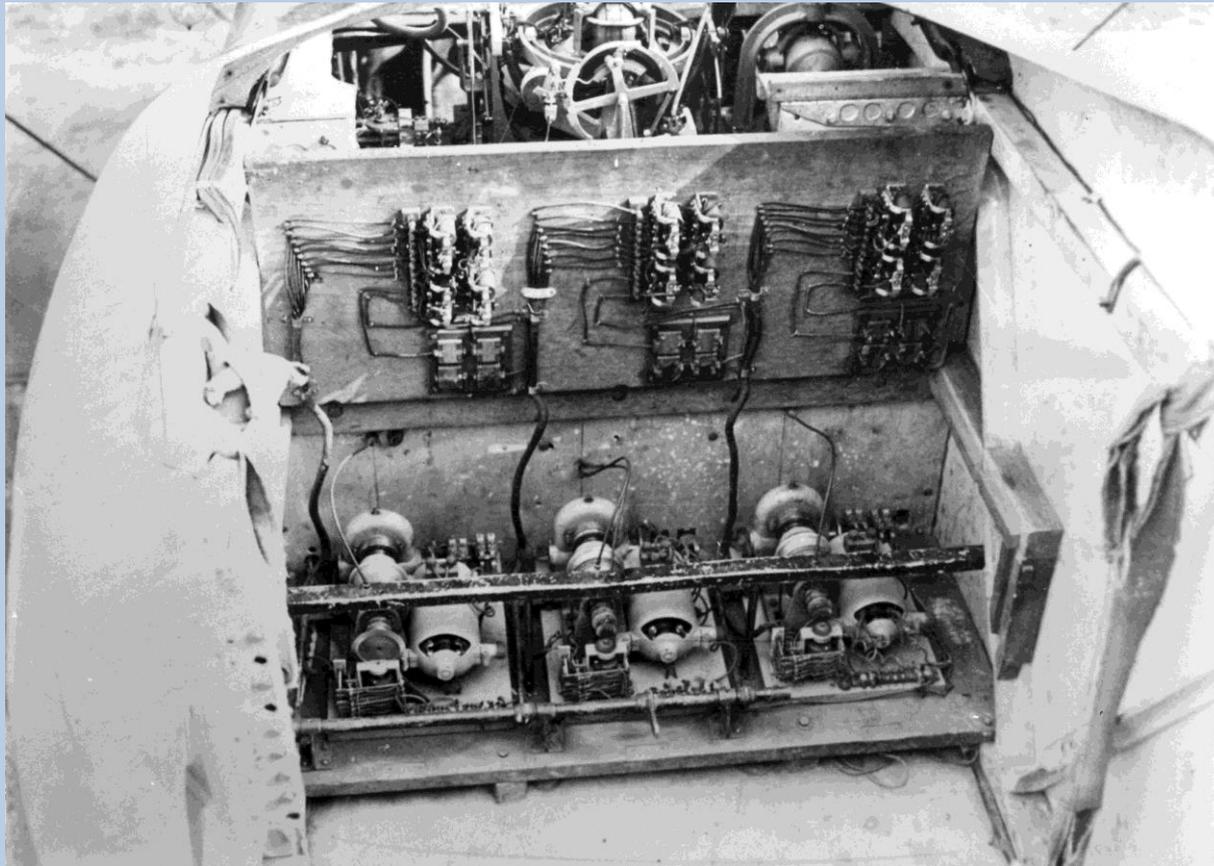


Roland Turner, CC-BY-SA 2.0



# Les ressources du musée

## Les collections

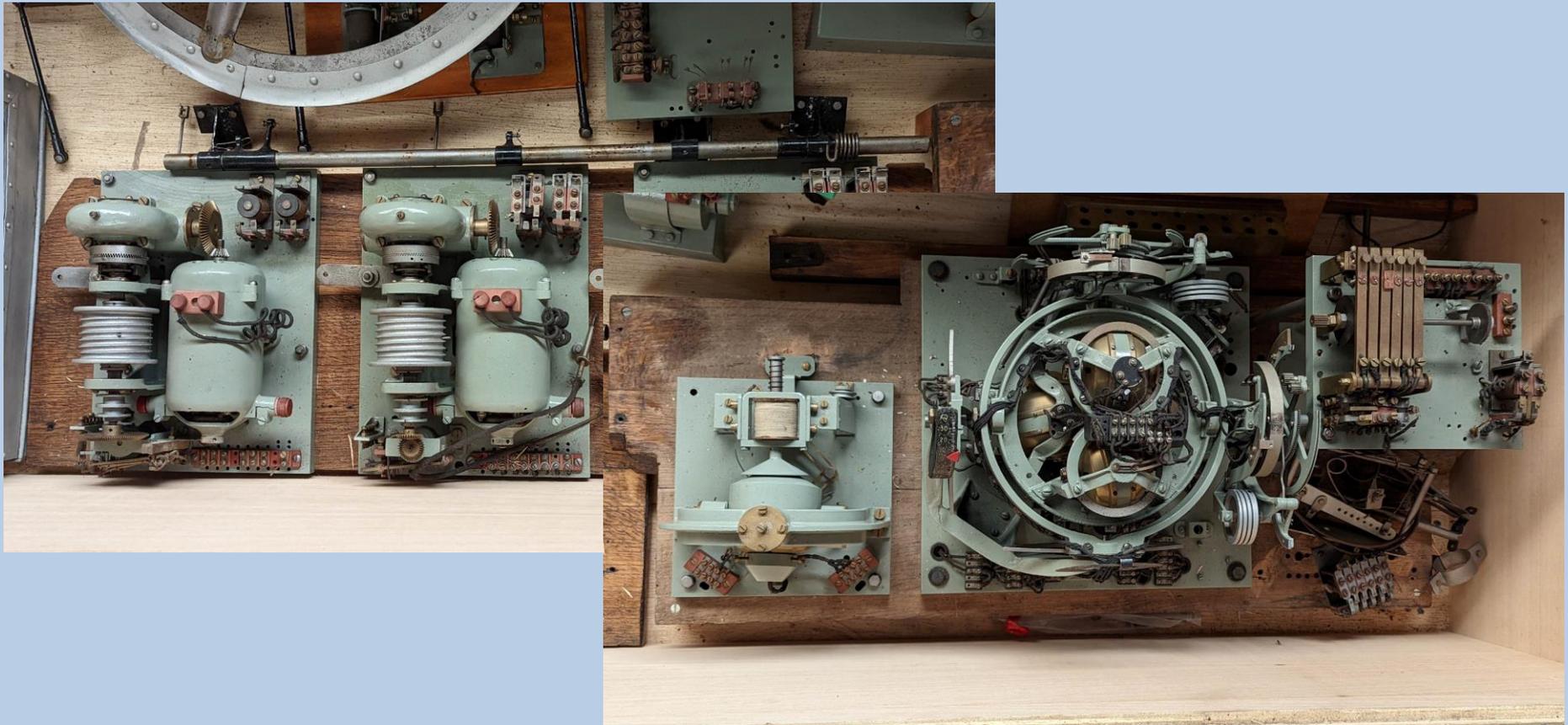


DR – Musée de l'Air et de l'Espace



# Les ressources du musée

## Les collections



© Marion Weckerle



# Les ressources du musée

## Le Département de Recherches et de Documentation



Musée de l'Air et de l'Espace - Le Bourget / Frédéric Cabeza



# Les ressources du musée

## Le Département de Recherches et de Documentation

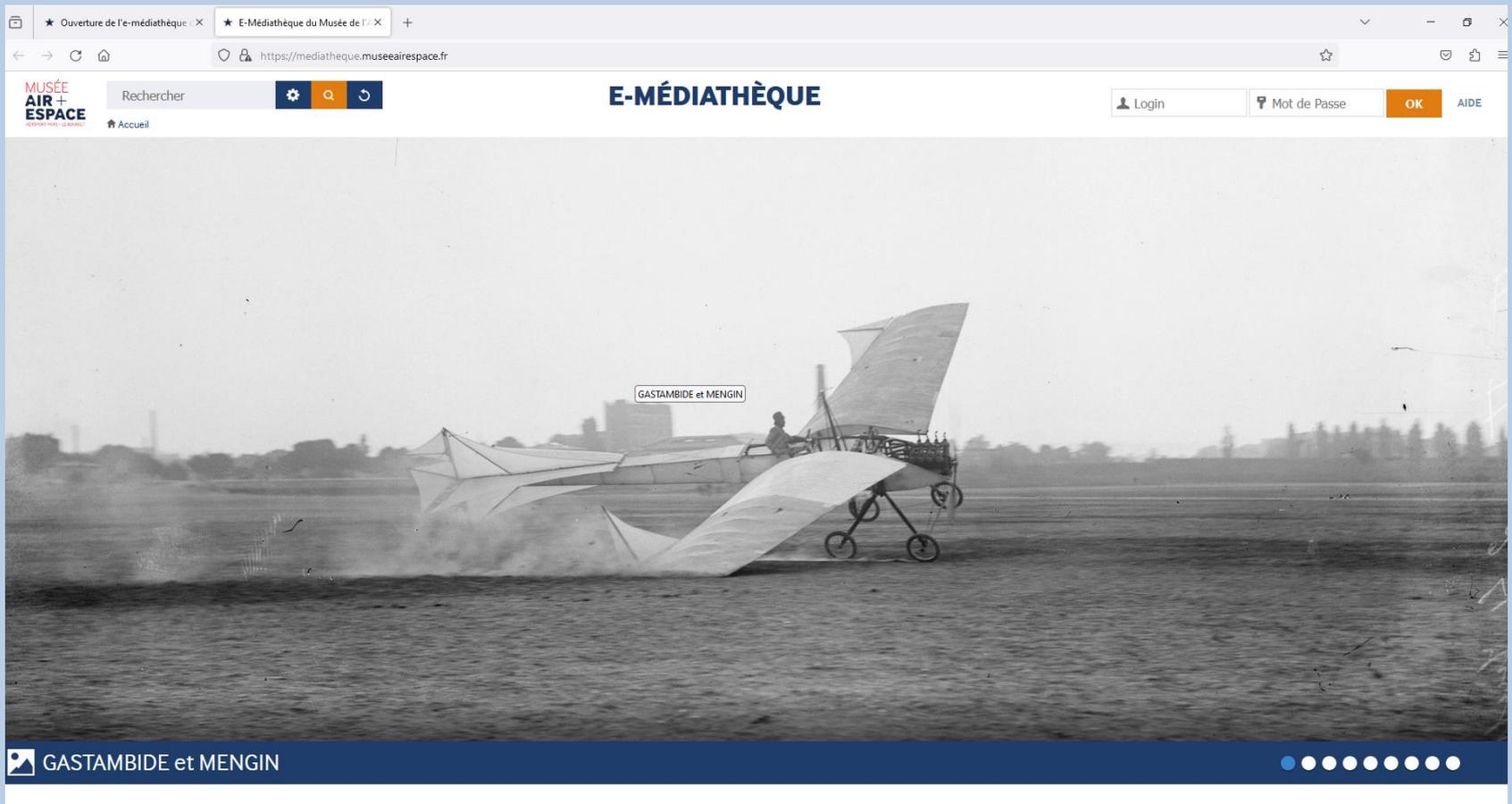


Musée de l'Air et de l'Espace - Le Bourget / Frédéric Cabeza



# Les ressources du musée

## Le Département de Recherches et de Documentation





# Les ressources du musée

- Vous pouvez nous aider :
  - En conservant vos documents (papiers, croquis, plans, dessins, etc.) et objets
  - En gardant ces documents de projets réalisés, mais aussi non réalisés *(Ne me parlez pas ce qui a fonctionné, parlez moi de ce qui n'a pas marché! G. Laruelle)*
  - En nous aidant sur le patrimoine numérique

# LES INGÉNIEURS FACE À LA MISE AU POINT D'UNE NOUVELLE MACHINE VOLANTE

par Claude LELAIE\*

**Les jeunes ingénieurs peuvent s'imaginer qu'après avoir conçu un nouveau modèle d'avion ou de taxi volant et l'avoir montré en grande pompe au public, ils vont rapidement pouvoir le mettre au point et le certifier. Disons-le clairement : ils ne doivent pas se faire d'illusions, le chemin est semé d'embûches.**

Même lorsqu'une machine est « bien née », au moment de son premier vol il existe un nombre incroyable de problèmes à régler avant de pouvoir la livrer. Il peut s'agir d'erreurs dans les calculs ou dans la conception de l'appareil ou de mauvaises surprises, même s'il y en a quelquefois de bonnes. Le client ne peut pas accepter les dysfonctionnements, donc tous les défauts doivent être corrigés au cours de la mise au point.

## **L'A380, les problèmes des premiers vols**

L'A380 est un magnifique avion. Tous les pilotes et les ingénieurs qui ont participé à la mise au point ont constaté dès les premiers vols que c'était un appareil bien né. Malgré cela ils ont immédiatement rencontré de très nombreux problèmes. Nous allons détailler ces anomalies vol par vol afin d'illustrer ce qui peut attendre les ingénieurs lors de la mise au point d'une nouvelle machine, en essayant de faire la distinction entre les problèmes dus à des erreurs qui auraient pu être évitées et les surprises difficiles à prévoir, même si cette distinction est parfois difficile à faire.

**Vol 1** : Lors d'un premier vol, la rentrée du train ne s'effectue pas juste après le décollage mais après avoir gagné un peu d'altitude et effectué quelques vérifications. Les très gros avions sont flexibles. Il est courant que le système de verrouillage haut du train qui a été réglé au sol avec l'appareil sur vérins ne soit pas satisfaisant. Ainsi, lors d'un premier vol, le train peut ne pas se verrouiller en position haute. L'équipage doit passer au plan B et se limiter à l'exploration des basses vitesses. C'est ce qui s'est passé avec l'A380. Mauvaise surprise.

**Vol 2** : Le train est bien rentré. Le but de ce vol était de débiter l'exploration des grandes vitesses et de monter vers l'altitude de croisière. Pour cela, des accélérations devaient être faites à différentes altitudes et la première a été exécutée à 10 000 ft. Au passage de la vitesse de 300 kt, une décompression explosive s'est produite. Pas de dommage compte tenu de l'altitude. La cause était une erreur de conception des quatre calculateurs de pressurisation. En effet, plusieurs sources de mesure de la pression statique alimentent ces calculateurs mais, avec la vitesse, les différences de mesure entre tous les capteurs deviennent de plus en plus grandes. Les quatre calculateurs comparaient ces valeurs de pression et comme ils les ont trouvées trop éloignées, ils ont

commandé l'ouverture des vannes de sécurité. C'est une erreur qui aurait dû être évitée en prévoyant les tolérances appropriées dans les calculateurs.

A la fin de ce vol, les deux trains de fuselage ont d'abord refusé de sortir. Alors que l'équipage réfléchissait à la procédure à appliquer, ils sont finalement sortis. Un petit réglage à faire sur les trappes. Leçon retenue.

**Vol 3** : Ne pouvant ni accélérer ni monter, ce vol a été consacré aux basses vitesses et 12 décrochages ont été effectués (rappelons que le décrochage correspond à la vitesse où la portance maximale est atteinte ; c'est la vitesse minimale de vol car l'avion est à la limite de la perte de contrôle). Les résultats de ces décrochages étaient excellents car la vitesse minimale de vol était légèrement inférieure aux prévisions et le comportement de l'avion était très bon. Donc bonne surprise sur le plan des performances et du comportement de l'avion.

Malheureusement, les tourbillons sur l'extrados de la voilure à l'approche du décrochage créaient des forces très importantes sur l'empennage, à la limite de ce qui était acceptable. Les équipes de direction du programme avaient interdit de « perdre » une demi-journée pour calibrer les capteurs qui mesurent ces forces. Après avoir fait plusieurs vols dans ces conditions, lorsque la calibration a pu être faite dès le retour du Salon du Bourget, il s'est avéré qu'une erreur de signe avait été commise : par conséquent, il n'y avait pas de problème. Mauvaise décision de la direction du programme !

**Vol 5** : Premier vol à haute altitude où l'on a pu apprécier les qualités de l'avion : silence (même sans l'équipement de la cabine), pas de vibrations jusqu'au Mach maximal MMO (M 0,89), consommation conforme aux prévisions. Ce n'était pas vraiment une surprise mais la confirmation que l'A380 serait un bel avion à condition de travailler.

**Vol 6** : C'était un vol consacré à la mesure des consommations en croisière avec des paliers stabilisés. Les mesures étaient bonnes. Malheureusement, la température est descendue vers 0°C dans la cabine et les ingénieurs n'avaient pas leur tenue d'hiver ! Le vol a tourné court mais avec suffisamment de bons résultats. Il s'agissait d'une petite anomalie sur le conditionnement d'air.

**Vol 7** : Vol consacré à la vérification du comportement au centrage limite arrière. Il était évident que de nombreux réglages allaient être nécessaires, mais pas de difficulté majeure.

A la fin du vol, l'un des trains de fuselage a refusé de rentrer. Encore un petit réglage à prévoir.

**Vol 9** : Nous commençons la première série de vols destinée à mesurer les taux de montée avec un moteur coupé, différents braquages de volets et à différentes vitesses. En associant ces résultats avec les mesures de vitesses de décrochage, le bureau d'études pouvait ainsi calculer les performances de décollage dans différentes configurations afin de choisir les meilleurs braquages de volets. De nombreuses montées ont été effectuées avec trois moteurs pleins gaz suivies de

descentes avec ces moteurs au ralenti. Les variations de poussée ralenti-pleins gaz sur les moteurs conduisaient à une énorme consommation d'huile et l'alarme de bas niveau d'huile a été rapidement atteinte sur un des moteurs, ce qui a conduit à écourter ce vol ; il a fallu également raccourcir les suivants. Mais Rolls-Royce connaissait ce problème qui a pu être réglé rapidement.

Le problème principal de la mise au point de cet avion a été rencontré au cours de ce vol. Avec un moteur coupé et les trois autres aux pleins gaz, lors d'une mise en virage franche, les efforts sur la dérive atteignaient 90% des charges limites alors que sur les autres appareils en service ils ne dépassent pas 80%. Clairement, il fallait renforcer la dérive. Probablement une mauvaise estimation de la flexibilité de la structure.

Malgré tous ces ennuis lors des premiers vols, nous étions convaincus que l'A380 était un bel avion et les essais ont progressé à un bon rythme.

### **Le comportement en turbulence**

Les gros avions sont flexibles et il peut apparaître des mouvements désagréables en turbulence. Grâce aux commandes de vol électriques, des lois de contrôle améliorant le confort en turbulence peuvent être installées. Pour cela, les modes d'oscillation des voilures et du fuselage sont analysés afin de déterminer une loi adaptée à l'avion. Sur l'A380, une loi a été mise au point que l'on a appelée « valse des ailerons ». Les oscillations de la voilure affectent les mouvements du fuselage et elles sont contrôlées grâce aux ailerons. L'A380 a trois ailerons sur chaque aile. Lors d'un mouvement en roulis commandé par le pilote ou dû à la turbulence, il y a un braquage immédiat de l'aileron interne (le plus près du fuselage) ainsi que de l'aileron externe, mais avec un braquage plus faible pour ce dernier. L'aileron médian rejoint l'aileron interne après un délai de 350 millisecondes. Mais quelquefois les ailerons interne et externe repartent rapidement dans l'autre direction. Ainsi, les trois ailerons d'une même aile peuvent être dans des positions différentes, d'où le nom de cette loi qui améliore le confort.

### **La vitesse minimale de contrôle au sol**

Un autre problème important a été rencontré lors de la détermination de la vitesse minimale de contrôle au sol. Le principe de la mesure consiste à accélérer sur la piste avec tous les moteurs aux pleins gaz et à couper l'arrivée du carburant d'un moteur externe. On mesure alors la déviation latérale car le pilote ne peut plus maintenir l'axe puisqu'il a braqué la direction en butée. Lorsque la vitesse est élevée, le braquage maximal de la direction permet au pilote de minimiser l'écart par rapport à la trajectoire prévue. Cet écart augmente lorsque la vitesse de coupure diminue car la direction est moins efficace. Le but de ces essais est de déterminer la vitesse pour laquelle la déviation atteint 30 ft (environ 10 mètres). Par prudence, on débute les essais avec une vitesse élevée et cette dernière est progressivement réduite. Sur les Airbus, ces essais n'avaient jamais conduit à des difficultés particulières. Mais sur l'A380, dès les premiers essais à vitesse élevée, il est apparu que la déviation atteignait 15 mètres. Les caméras montraient un dérapage de tous les pneus des trains principaux.

C'était une vraie surprise. De grosses modifications ont été nécessaires sur les lois des commandes de vol pour résoudre ce problème, avec un braquage plus rapide des directions et un braquage particulier des ailerons permettant de créer une traînée supplémentaire à l'opposé du moteur coupé.

### **La liste des anomalies**

Nous n'avons décrit ici que quelques exemples des problèmes significatifs rencontrés, soit pendant les premiers vols, soit plus tard pendant la mise au point de l'A380. Mais en pratique on rencontre des milliers d'anomalies, d'importances diverses, qui doivent être résolues avant la livraison de l'avion au premier client. Il n'est pas envisageable qu'une compagnie de lancement comme Qatar, toujours à la recherche de la perfection, accepte un appareil avec le moindre défaut. Autrefois, certains clients acceptaient de prendre livraison d'avions avec des défauts de jeunesse. Aujourd'hui ce n'est guère possible. Par ailleurs, les réseaux sociaux pourraient faire du mal à un constructeur si certaines de ces anomalies étaient divulguées. C'est pourquoi les constructeurs sont plus que jamais à la recherche du zéro défaut.

Une liste des anomalies doit donc être tenue à jour. Traditionnellement chez Airbus, en vol, un ingénieur navigant d'essais assis entre les deux pilotes prend note de toute nouvelle anomalie rencontrée sur les systèmes. Ces anomalies viennent s'ajouter à celles détectées lors de l'analyse des données pour constituer la « grande liste ».

### **La résolution des problèmes**

Cette liste d'anomalies s'allonge tous les jours. Au cours de la mise au point, plusieurs milliers sont rencontrées. Elles sont progressivement corrigées, mais comme il en apparaît toujours de nouvelles, cette liste reste longue jusque dans les dernières semaines au cours desquelles on peut installer les versions finales des calculateurs qui règlent les problèmes et apporter les modifications techniques appropriées.

Il est important de pouvoir détecter les anomalies le plus tôt possible car leur correction peut être longue. Par ailleurs, la construction des avions de série se poursuit en même temps que les essais en vol. La détection tardive de certains problèmes pourrait conduire sur ces avions de série à des rétrofits qu'il est préférable d'éviter car ils peuvent être coûteux et retarder des livraisons.

Des surprises apparaissent lors des vols d'essais et on ne peut pas imaginer de pouvoir tout régler avant le premier vol. Cependant l'utilisation intensive de bancs d'essais permet de détecter assez tôt certaines anomalies. Ces bancs d'essais coûtent cher mais l'investissement est facilement récupéré du fait que l'on minimise le nombre de rétrofits sur les avions de série en construction. Par ailleurs, personne n'est à l'abri d'un gros problème qui pourrait retarder le programme et les premières livraisons. Il faut donc se donner une chance de le détecter le plus tôt possible.

Alors que pour l'A380 plusieurs milliers d'anomalies ont été rencontrées, ce chiffre a été divisé pratiquement par deux pour l'A350. C'est d'abord le fruit de l'expérience, mais c'est également dû à une utilisation plus importante des bancs d'essais.

## **Conclusions**

La mise au point en vol d'une nouvelle machine est toujours difficile. De nouveaux problèmes sont découverts tous les jours et même toutes les heures. Ils peuvent être dus à des erreurs de conception ou de calcul mais on rencontre également de nombreuses anomalies totalement imprévisibles qu'il faut cependant résoudre.

Toutes les anomalies doivent être prises en compte et une solution doit être trouvée pour chacune d'elles avant la livraison au premier client. Il ne s'agit pas seulement de sécurité des vols, mais également de qualité. Il y va de la réputation du constructeur qui peut vite être détruite par les réseaux sociaux.

Le nombre d'anomalies détectées pendant la phase d'essais en vol peut être réduit de manière significative en effectuant un maximum de tests sur des bancs d'essais bien avant le premier vol.

La mise au point d'une nouvelle machine volante est passionnante, mais il faut être patient car le chemin est semé d'embûches.

# Maîtrise des Grands Programmes



# QU'EST CE QU'UN PROGRAMME ?

ENSEMBLE COORDONNE DE TACHES TECHNIQUES ,  
ADMINISTRATIVES ET FINANCIERES ,  
DESTINE A CONCEVOIR , DEVELOPPER ET REALISER UN  
PRODUIT  
PREPARER SON UTILISATION ET EN ASSURER LE SOUTIEN  
(*Sans oublier son recyclage final*)

## ET un « **GRAND** » PROGRAMME ?

- Le nombre d'individus participants
- **La durée**
- Le coût
- **Le nombre de sociétés , d'organismes**
- **La complexité**
- **Le caractère novateur**

## LES ACTEURS

**DEMANDEUR** : le client ultime

**MAITRE D'OUVRAGE** (DGA-Domaine Militaire)

- **Spécification**
- Enveloppe **budgétaire**
- Planification du **financement**
- **Organisation**
- Contrôle de l'**exécution**

**MAITRE D'OEUVRE** :

entité qui dirige ceux qui réalisent (avec les pouvoirs complets y compris financiers)

**ARCHITECTE INDUSTRIEL**

entité qui est chargée de la coordination technique, au niveau du système complet

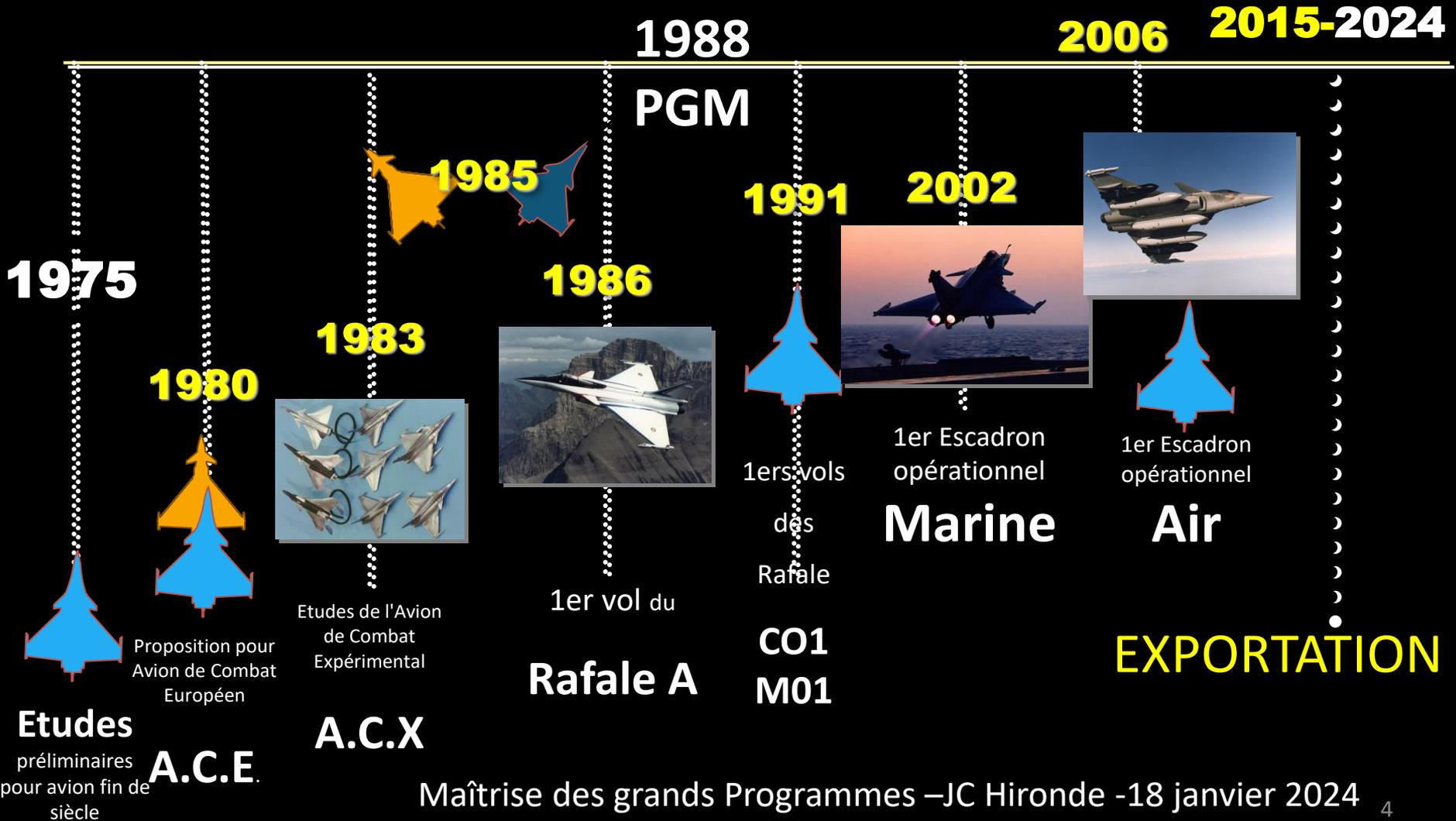
**INTEGRATEUR**

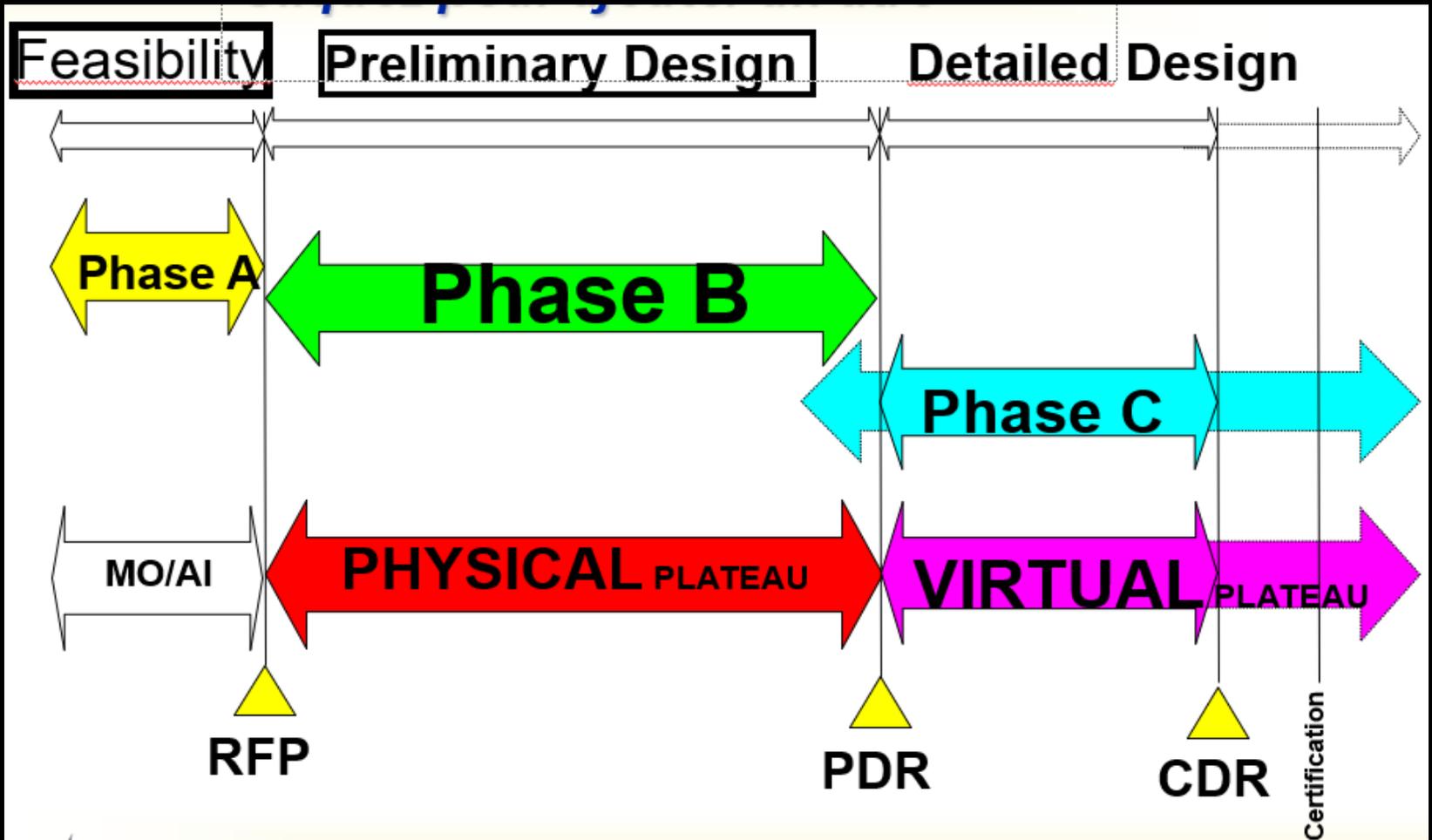
entité chargée de faire fonctionner ensemble des composants

# Historique Airbus A 320

- o**1984** : lancement **A320**.
- o**1988** : certification et mise en service A320 **par Air France**.
- o**1993** : **certification et mise en service A330/AQ340**.
- o**1999** : grâce à l'A320, **Airbus rejoint Boeing** dans le duopole des constructeurs.
- o**2010** : lancement **A320-neo**.
- o**2019** : **grâce à l'A320-neo, Airbus neo dépasse Boeing** , dans le duopole des constructeurs .

# HISTORIQUE RAFALE





**RFP** : Request For Prposal - Pour **choisir** les coopérants.

**PDR** : Preliminary Design Review – On est OK sur le **Projet Commun**

**CDR** : Critical Design Review – On lance la **Fabrication**.

# La Spécification

Gelée dès le début.

Avoir l'accord préalable de l'utilisateur final.

Une simulation VASY (Vision Avancée Système) permet de concrétiser cet accord, **sans ambiguïté.**

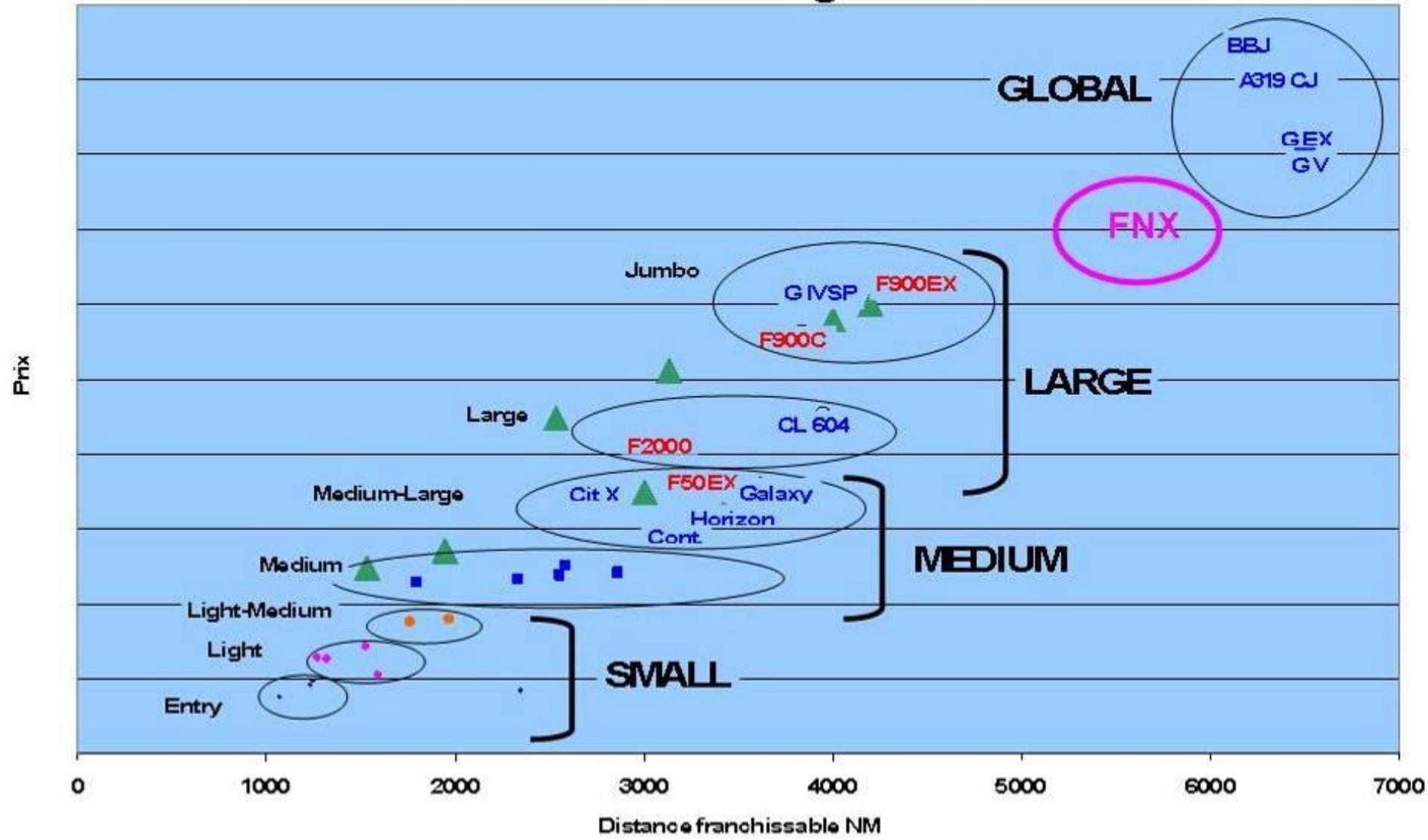
Choix des coopérants / sous-traitants (RFP).

Plan de Maitrise des risques

Gestion de la configuration (modifications) / RFP

Gestion de la configuration / PDR / CDR

# Price / Range



# Le RAFALE remplace 6 types d'avions



*POLYVALENT*

MARINE

AIR



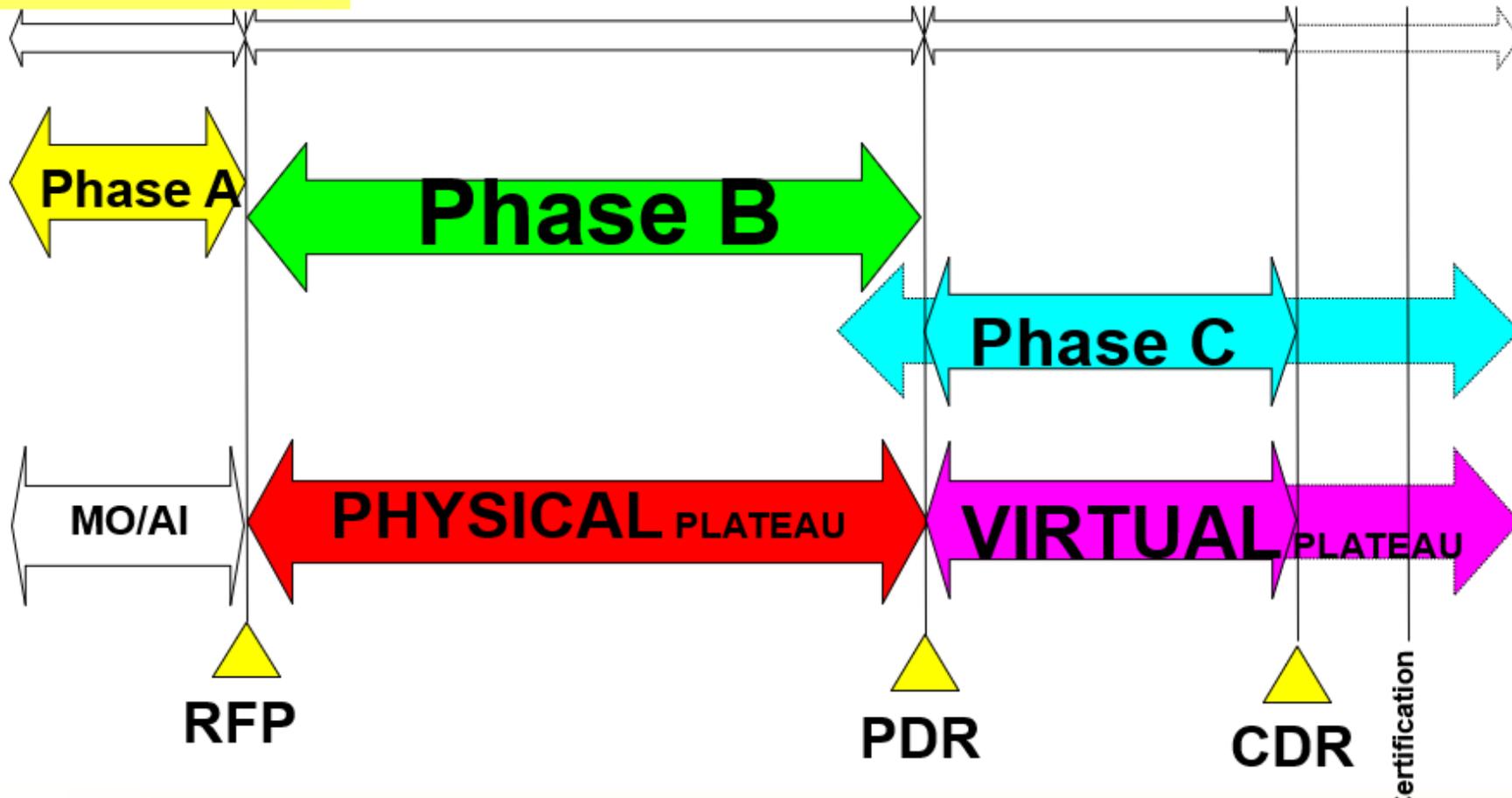
# LA POLYVALENCE DU RAFALE



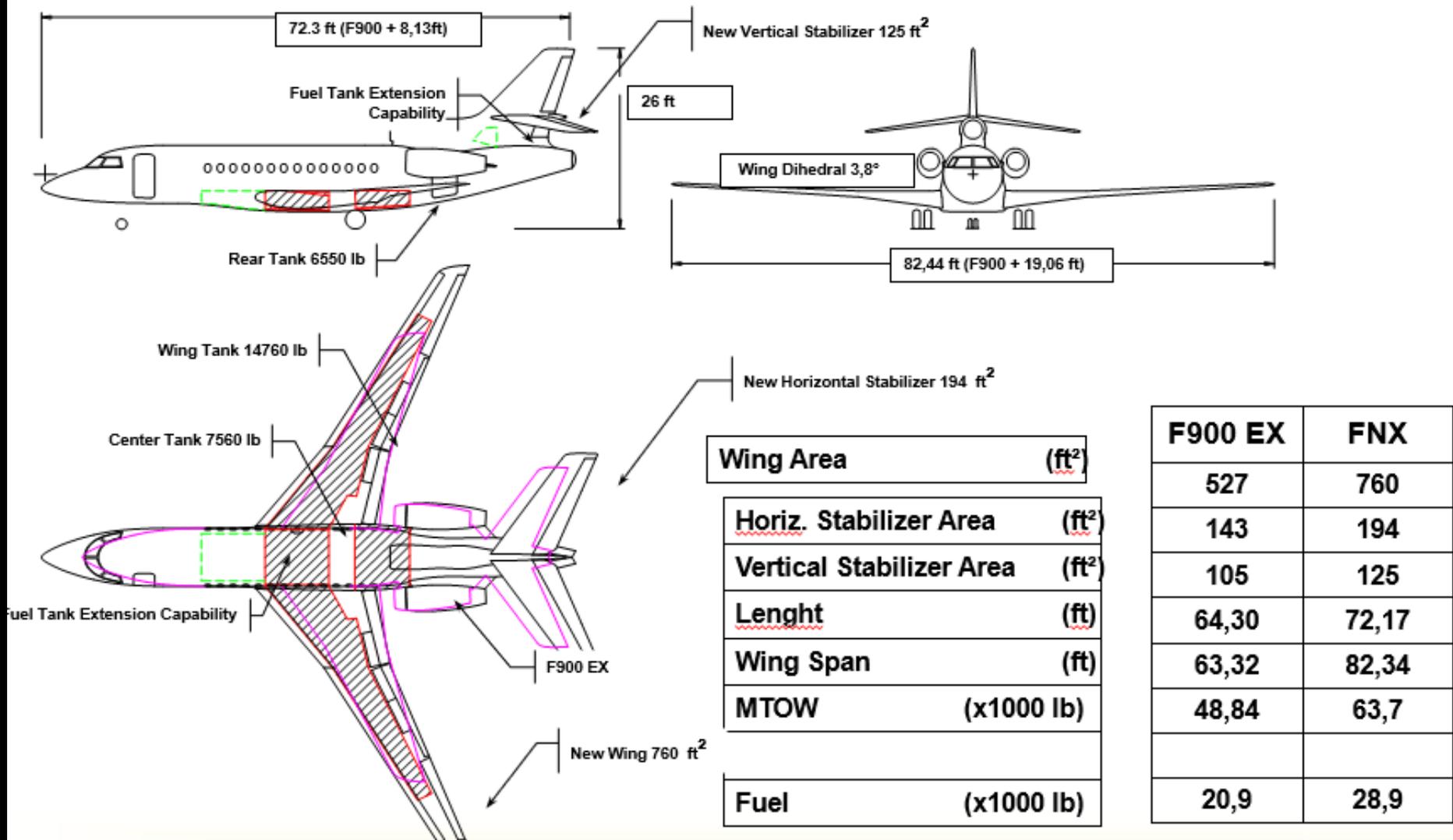
# Feasibility

Preliminary Design

Detailed Design



# FNX - 3-view Drawing



<b>Wing Area</b>	<b>(ft<sup>2</sup>)</b>
<b>Horiz. Stabilizer Area</b>	<b>(ft<sup>2</sup>)</b>
<b>Vertical Stabilizer Area</b>	<b>(ft<sup>2</sup>)</b>
<b>Lenght</b>	<b>(ft)</b>
<b>Wing Span</b>	<b>(ft)</b>
<b>MTOW</b>	<b>(x1000 lb)</b>
<b>Fuel</b>	<b>(x1000 lb)</b>

F900 EX	FNX
527	760
143	194
105	125
64,30	72,17
63,32	82,34
48,84	63,7
20,9	28,9

# **CONCLUSION: FNX-Key SUCCESS FACTORS**

## ***3 Key Technologies :***

- Aerodynamics***
- Fly by wire***
- Fully integrated digital definition CATIA  
and product management software VPM1***

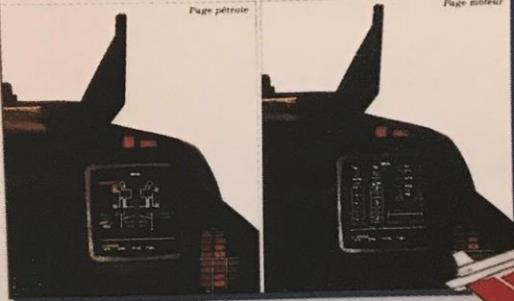
# Rafale LA TECHNOLOGIE DU FUTUR

## SYSTEMES

Digitalisation et Intégration (Pétrole, Moteur, Conditionnement, Hydraulique, Electricité, Oxygène).  
Présentation des pannes et alarmes dans les visualisations.

Page pétrole

Page moteur



## SYSTEME DE PILOTAGE

- Commandes de vol électriques numériques (redondance 4).
- Calculateurs très rapides et puissants.
- Intégration des moteurs et liaison vers le Système d'Armes.
- Modes de pilotage nouveaux : Antiturbulence, contrôle poussée-trainée, contrôle à très grande incidence.

## FORMULE

### Voiture DELTA

- Allongement augmenté pour la manœuvrabilité.
- Grande flèche de bord d'attaque pour réduire la traînée supersonique.

### Canards mobiles

- Interactionnent la voilure.
- Augmentent la portance.
- Permettent des modes nouveaux de pilotage.

### Dérive

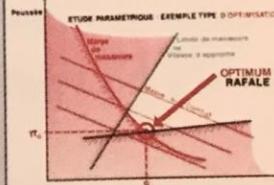
- Petite surface.
- Grand drapeau.

## INSTALLATION DU PILOTE

- Siège incliné permettant au pilote de mieux supporter les accélérations élevées.
- Manche latéral et manette des gaz à faible débattement.
- Concept "mains sur manette et manche".

## TAILLE

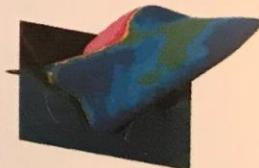
Réduite par de nombreuses études paramétriques d'optimisation.



Comparison RAFALE/2000

## ENTREES D'AIR

- Amélioration de la qualité de l'écoulement et meilleur rendement à Grande Incidence.
- Grande simplicité (pas de dispositif mobile, ni d'aspiration) assurant un bon compromis subsonique-supersonique.



## MATERIAUX NOUVEAUX

- CARBONE (baquet pilote, voilure, dérive, gouvernes, portes moteur et train)
- KEVLAR (Karman, carénages, croupion)
- TITANE SPFD8 (Bees de bord d'attaque)
- ALUMINIUM LITHIUM (Revêtement)

## DIALOGUE HOMME-MACHINE

- Nouvelles visualisations.
- Commandes temps réel.
- Commande vocale.



## ATTERRISSEURS

- Capables de vitesse d'impact élevée (atterrissage sans arrondi).
- Freins très puissants, en Carbone, sur les trois roues.
- Freinage électrique contrôlé par les commandes de vol.

## CALCUL DES STRUCTURES

- Optimisation des structures en composite.
- Calcul de vibration et de flottement.
- Calcul tridimensionnel.



## AERODYNAMIQUE THEORIQUE

- OPTIMISATION de la voilure en transsonique
- OPTIMISATION de la traînée



## ARMEMENT

12 points d'emport au total. Capacité de 4 missiles plaqués sous le fuselage.

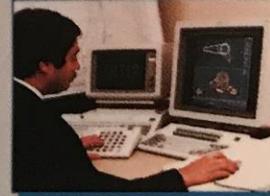
4 MICA + 2 MAGIC

Possibilité d'emport

Lance-missile intégré et optimisé avec l'extrémité de voilure.



## CONCEPTION ET FABRICATION ASSISTEES PAR ORDINATEUR (C.F.A.O.)



- Compacité d'aménagement.
- Optimisation des formes.

Point de travail CATIA

Charbonnatrice de train



Grâce à ces techniques, le Rafale a une capacité opérationnelle exceptionnelle tout en restant d'une taille raisonnable.

Il préfigure l'avion de l'avenir efficace et de coût modéré.

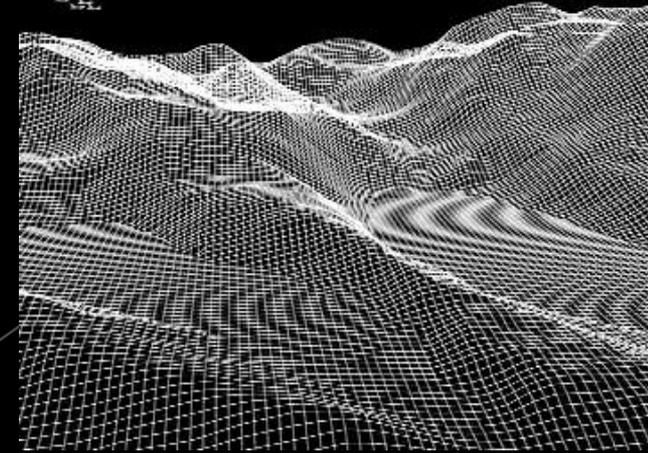
**LE RAFALE est donc un atout MAJEUR de l'Industrie Aéronautique militaire FRANÇAISE.**

# Développement « mission »

DECIDER / AGIR



SYSTEME DE MISSION



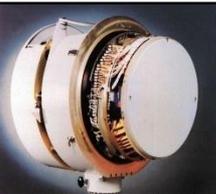
## VASY

LIAISON DE DONNEES

CONTRE MESURES

OPTRONIQUE

RADAR



GPS

RADIO SONDE

CENTRALE  
INERTIELLE

MAINTENANCE

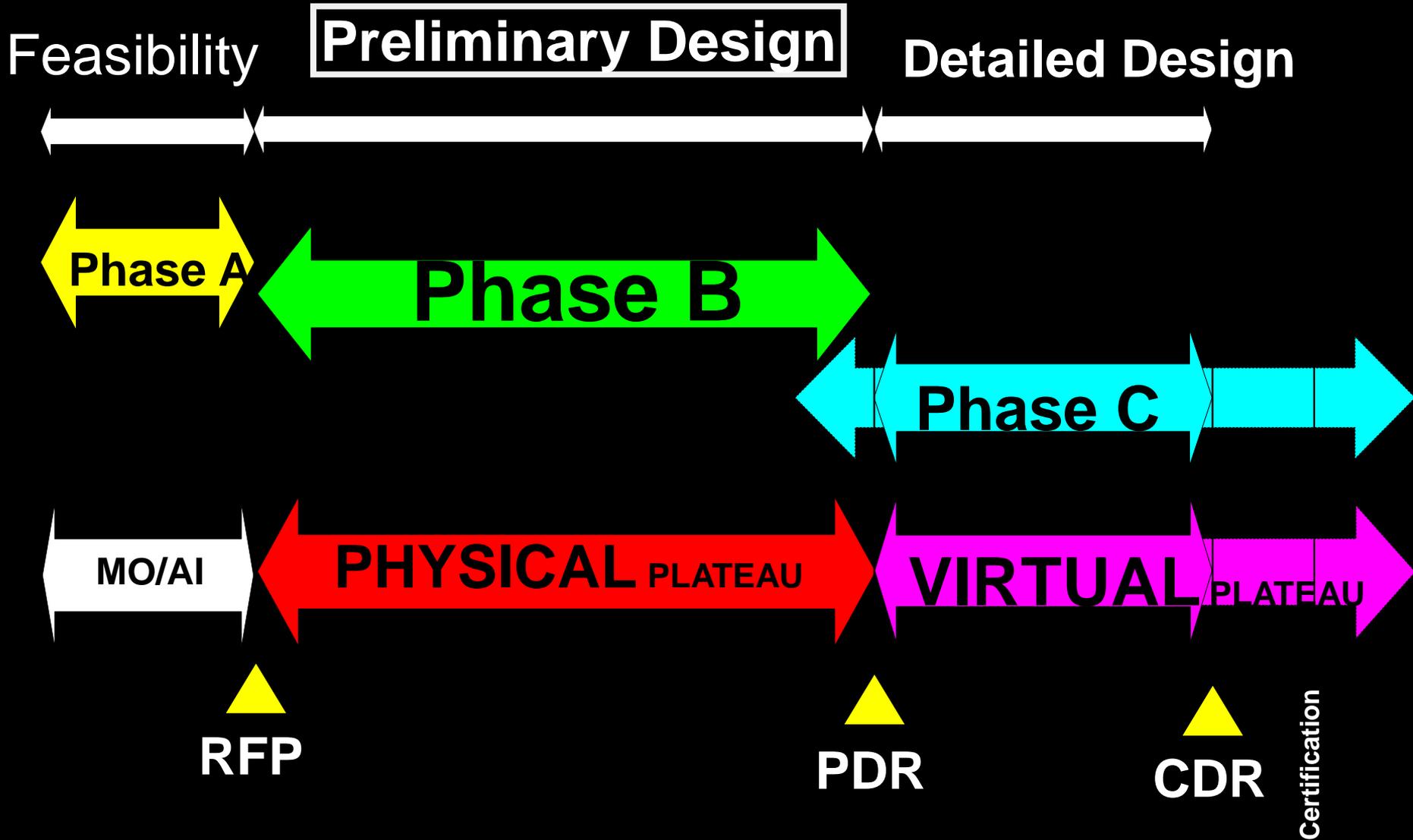
PREPARATION  
MISSION

BROUILLAGE

CONDUITES DE TIR A/S

CONDUITES DE TIR A/A



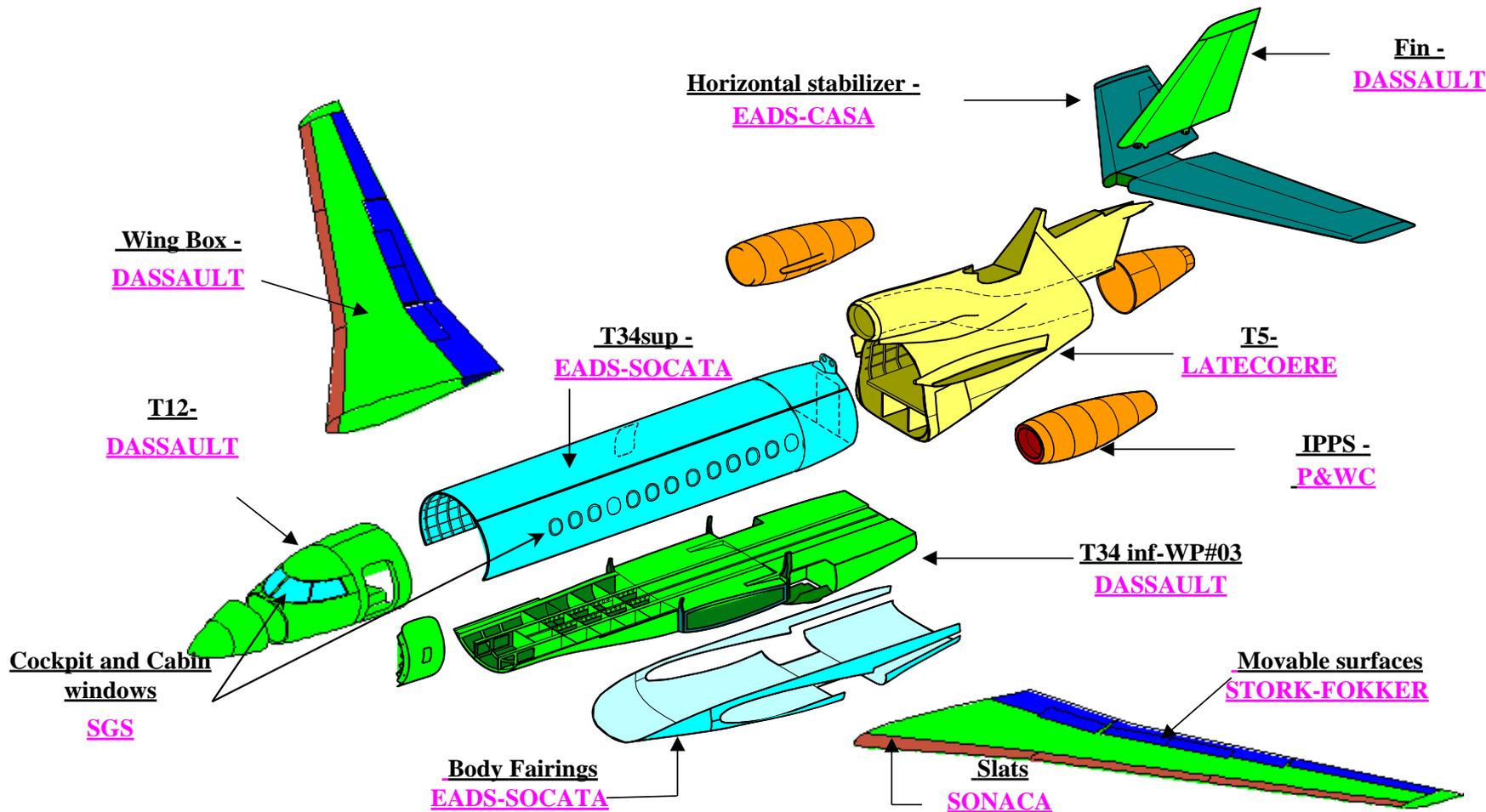


Un **Projet** doit être réalisé avec des équipes représentant tous les Coopérants , **en plateau physique, en un même lieu.**

Il permet de **fixer des objectifs** acceptés par tous les acteurs qui visent **l'optimisation globale** du Programme.

Le **projet est décliné** par tous les Coopérants en définition préliminaire **utilisant les mêmes outils informatiques et une BDD** (Base De Données) **partagée en temps réel**, avec une **arborescence produit** permettant de maîtriser toutes les **interfaces** et les conflits d'intérêt **éventuels** entre coopérants.

# Falcon 7X - Partenaires



# Maître d'œuvre de systèmes complexes



# Pourquoi travailler Ensemble ?

- Le programme est très ambitieux :  
proposer à nos clients la meilleure réponse technique et économique.
- Pour réussir : concevoir un avion **entièrement optimisé**.  
il ne suffit pas d'optimiser chaque partie individuellement,  
il faut aboutir à une **solution globalement optimale**.
- Pour cela : nous devons partager des données et travailler en contexte.
- Cette méthode fait gagner du temps, de l'argent et améliore la qualité.

# One Team

- ▶ **Partners and AI teams,**
  - **all together on the « Plateau »**
  - **at the same time**
  
- ▶ **Same methods**
  - **Generalized computer design & production process**
    - **Digital Mock-Up (DMU)**
    - **Virtual Product Management (VPM)-BOM**

**From AI 's Preliminary Design to a Common Project**

# Falcon 7X – Plateau Physique

400 Personnes sur le Plateau  
27 Compagnies  
7 Pays



450 stations de travail Catia  
en réseau  
1 Virtual Reality Center



# Plateau Physique

Création de l'esprit d'équipe :

**Constitution d'une équipe partageant les mêmes objectifs , la même passion et la culture projet.**

**Ces équipes vont être ensuite les promoteurs du Projet dans leur propre Société,**

**La résolution des conflits d'intérêt doit être réglée dès ce stade**

Feasibility Preliminary Design **Detailed Design**



  
**RFP**

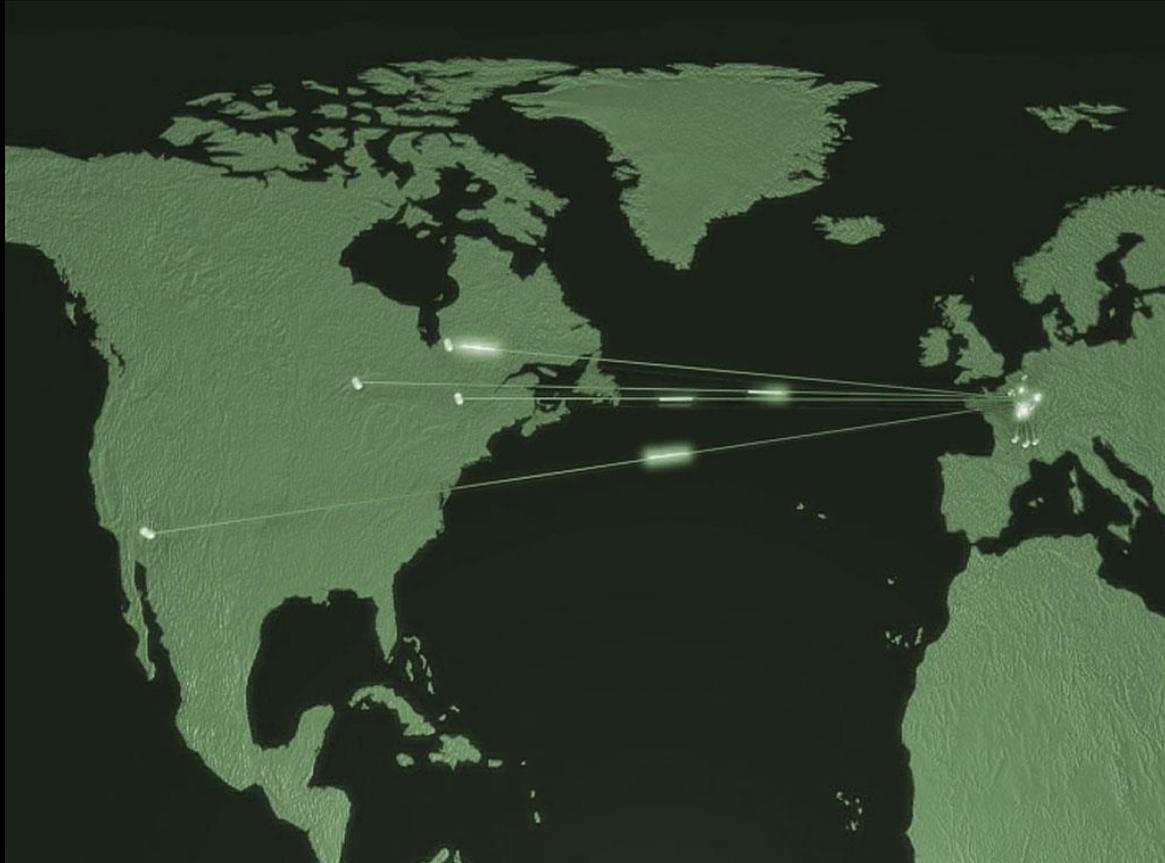
  
**PDR**

  
**CDR**

# Partage des données entre Partenaires

- 2 types de données :
  - géométriques : la Digital Mock-Up (DMU)
  - textuelles : toute la documentation de développement
- **Pas de données isolées** : partage de données **structurées et configurées** (ex. branche entière de la nomenclature avec tous les modèles associés)
- Échanges **synchronisés pour que tous les acteurs** partagent un ensemble homogène de données mises à jour

# Falcon 7X - Plateau Virtuel



18 Partenaires dans  
le monde

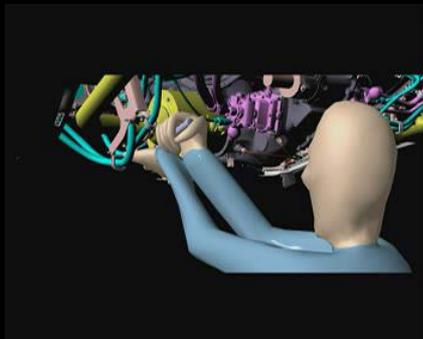
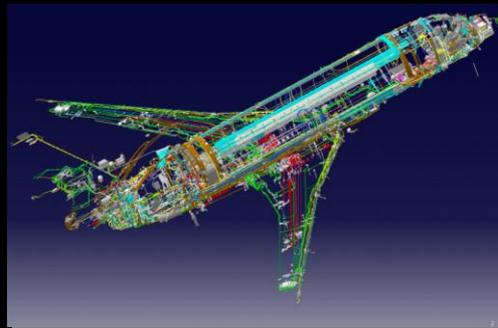
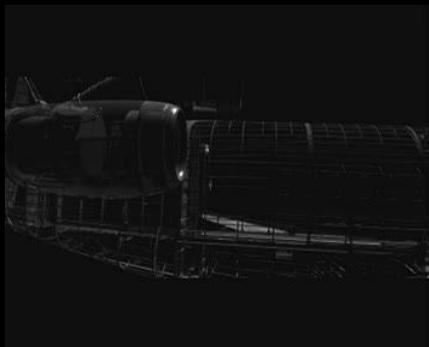
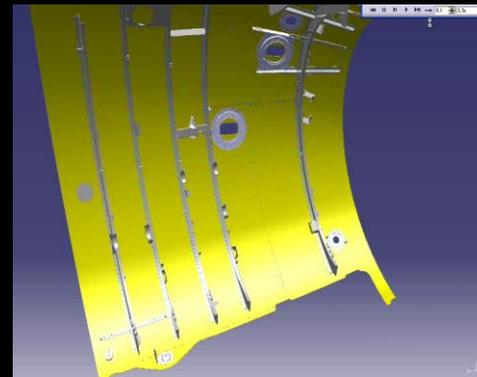
Volume des données transférées : un avion complet chaque mois

# Avec le "Plateau Virtuel" , le travail collaboratif à distance devient une réalité

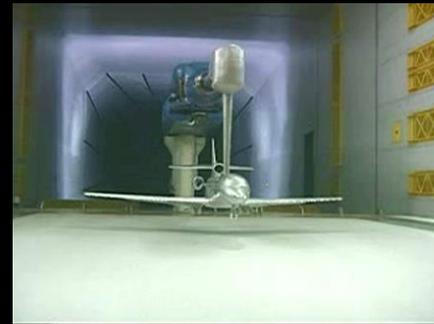
Ici, entre Pratt & Whitney (Montréal) et Dassault Aviation (Saint Cloud)



# Falcon 7X - BDD



# Les Essais au sol



Les essais au sol indispensables (levée de risque) sont effectués le plus tôt possible  
Pas d'impasse et respect des délais ( cf modifications tardives sur chaine)

# Les essais en vol





# La Rigueur

La **rigueur** doit être la règle pour tenir les performances et les délais.

Deux grandeurs à suivre de très près : **la masse** (Cadre Noir) et la **traînée**.

L'**erreur** doit être acceptée : annoncée tout de suite, elle permet un rétablissement rapide

Ne rien dire en pensant que cela s'arrangera : c'est NON.

Les **échecs** , il y en aura : on ne peut pas faire tout bien du premier coup.

Ne pas chercher le coupable (= c'est la faute à qui ?), mais concentrer l'énergie de toute l'équipe vers la solution pour en sortir par le haut : c'est dans les difficultés que se révèlent les grandes Equipes.

Les **TRL (niveaux de maturité technologique)** doivent être respectés (on ne coupe pas dans les virages : on verra bien plus tard- c'est NON )

Il faut des **démonstrateurs** pour les technologies de rupture.  
L'analyse des risques doit être faite dès le départ avec des plans de réduction des risques suivis de près.

# Persévérance-Ténacité



Septembre 1988



Septembre 2015

Les facteurs de réussite

que j'ai présentés peuvent aussi s'appliquer

à des projets non aéronautique et spatial :

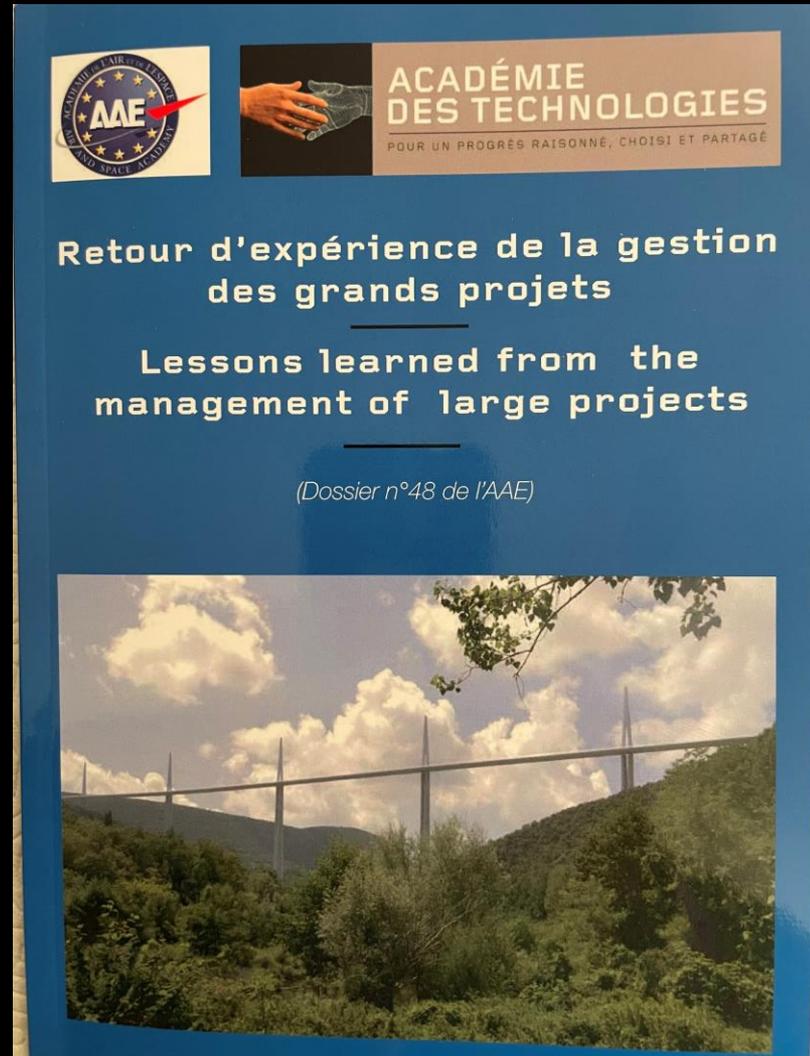
notamment le BTP-infrastructures,

les transports terrestres , l'énergie et aussi

les systèmes à dominance logiciel.

- Référence : **Voir le dossier 48 de l'AAE-AT** :

Retex de la gestion des grands Projets.



## Conclusion

J'ai principalement présenté ma vision de la **maitrise technique** des grands programmes :

Il ne faut pas oublier **les activités aval** (coordonnées aussi par le numérique) **la production, la maintenance opérationnelle, la documentation,**

Et surtout , il ne faut pas oublier la **gestion des ressources humaines.**

La formation à la conduite des GP est aussi un facteur **primordial** dans leur **réussite** (Je vous donne RDV dans un futur colloque , pour développer tous ces sujets très importants),

- Enfin, Il faut cultiver la Maîtrise de soi, le Respect des autres, l' Effort collectif et la Motivation de tous.
- Mais surtout :

**« Un combat n'est jamais perdu d'avance »**

**Qui a dit :**

« Ce n'est pas parce que les choses sont difficiles que nous n'osons pas les faire, c'est parce que nous n'osons pas les faire qu'elles sont difficiles » ?

« Ce n'est pas parce que les choses sont difficiles que nous n'osons pas les faire, c'est parce que nous n'osons pas les faire qu'elles sont difficiles » ?

Réponse : **Sénèque**, philosophe contemporain du Christ.

# Conclusion

- Alors soyez Audacieux et Tenaces :
- Ayez l'envie d'innover , n'ayez pas peur et osez.
- Le défi de la la décarbonation du TA est une **formidable opportunité** pour les ingénieurs : prenez votre destin avec ambition.
- Nous comptons sur vous pour **relever ce défi à l'horizon de 2035**, et bien au delà.
- Mais respectez bien les **facteurs clés de la réussite** que je viens de vous présenter.

## Haut les cœurs

# Maîtrise des Grands Programmes



Merci pour votre attention

