



**Deutsche Gesellschaft  
für Luft- und Raumfahrt  
Lilienthal-Oberth e.V.**

# The Opinions

## **PREPARING FOR GREEN AVIATION**

**while preserving commercial transport  
aircraft development know-how in Europe**

## **PRÉPARER UNE AVIATION VERTE**

**tout en préservant le savoir-faire de  
développement d'avions de transport en Europe**

## **SCHAFFUNG DER VORAUSSETZUNGEN FÜR EINE "GRÜNE LUFTFAHRT"**

**bei Erhalt des Know-How in Europa zur  
Entwicklung großer Verkehrsflugzeuge**

# Table des matières

Synthèse.....	21
Contexte .....	23
Comment préserver et renforcer les compétences européennes ?.....	23
Qu'a changé la crise COVID-19 à cet égard ? .....	24
Que manque-t-il pour atteindre l'objectif ambitieux de « décarbonisation »?.....	25
Comment développer un avion aussi "révolutionnaire" sans obérer notre avenir? .....	26
Pourquoi un démonstrateur de technologie volant et à quoi devrait-il ressembler ?.....	27
Comment définir le démonstrateur de technologie ? .....	28
Coûts, financement et calendrier d'un démonstrateur volant de technologie .....	29
Pourquoi un démonstrateur volant de technologie d'avion commercial maintenant ?.....	30
Conclusion.....	31

# PRÉPARER UNE AVIATION VERTE

## tout en préservant le savoir-faire de développement d'avions de transport en Europe

*Le présent Avis a été établi en commun par les deux associations AAE (Académie de l'air et de l'espace) et DGLR (Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt) qui le publient dans l'intérêt général européen. Pour ce faire un groupe ad hoc conjoint, dont la composition figure en Annexe 1, a été constitué. Pour des raisons pratiques, la version anglaise constitue la version de référence.*

### Synthèse

L'aviation de transport commercial doit faire face simultanément à :

- d'importantes pertes économiques immédiates tant chez les compagnies exploitantes que chez les industriels aéronautiques du fait de la crise de COVID-19 ;
- une nécessité absolue de livrer le plus rapidement possible sur le marché des produits pour une aviation beaucoup plus « verte » ; mais
- un manque global de ressources financières permettant le développement à temps des produits correspondants.

Une piste originale pour faire face à cette situation à moyen terme est proposée.

La pandémie de la COVID-19 a mis encore davantage en lumière la nécessité de lutter contre le réchauffement climatique du fait des risques majeurs encourus par la population mondiale. Dans le cadre de sa contribution à l'effort général, le secteur aérien est appelé à faire un effort significatif en proposant des opérations beaucoup plus « vertes » dans la prochaine décennie. Le développement et l'utilisation d'avions « verts » dans la catégorie des transports commerciaux, le plus gros contributeur aux émissions aéronautiques, est une priorité mais la méthode traditionnelle d'améliorations progressives, avec application aux produits existants de nouvelles technologies partielles, ne permettra pas d'atteindre les objectifs globaux fixés pour 2050.

Ces objectifs ne pourront être atteints qu'au moyen de technologies disruptives accompagnées de possibles nouvelles configurations de cellule. Tout en respectant des exigences de sécurité primordiales, ces solutions doivent être mûries et validées jusqu'au niveau global, un processus qui ne peut être réalisé qu'**au moyen d'un démonstrateur de technologies intégrées volant** – au plus près des « futurs » avions. Il s'agit d'une nouvelle approche pour l'industrie, tant en Europe qu'aux États-Unis (et ces derniers poussent fort via la NASA<sup>(1)</sup>).

La nouvelle logique proposée est de développer un démonstrateur volant tout en créant, en étroite coordination, de nouveaux équipements techniques et fonctions avancées. Cela se traduirait par une convergence plus rapide et plus efficace vers un produit plus performant, sachant respecter les calendriers et objectifs de coûts. À remarquer que cette approche correspond effectivement à une nouvelle méthode déjà utilisée en Europe pour des systèmes plus petits, et très utilisée en Amérique dans le domaine spatial : « le développement rapide ».

Par ailleurs, en l'absence de nouveau lancement d'avion, seul un tel démonstra-

teur permettra de maintenir le savoir-faire, menacé, de développement des avions de transport commerciaux en Europe (il n'y a pas eu de tout nouvel avion lancé depuis 2007). Il serait, en outre, un moyen idéal de formation des jeunes ingénieurs, aujourd'hui inexpérimentés, en vue de l'application des nouvelles technologies aux futurs avions.

Pour les raisons évoquées ci-dessus, les constructeurs de cellule, de moteurs et de systèmes, ainsi que l'ensemble de la communauté européenne de l'aviation de développement et de production, doivent être soutenus financièrement pour la durée nécessaire à la réalisation de ce changement de paradigme qu'est le démonstrateur complet volant.

**Pour conclure, alors que le développement de technologies individuelles est plutôt bien engagé (avec des financements garantis pour les trois prochaines années environ), il est estimé que les quatre nations d'Airbus – la France, l'Allemagne, l'Espagne et le Royaume-Uni – devraient mettre en place des financements appropriés, pour le développement nécessaire d'un démonstrateur de technologie volant (à l'instar de ce qui est fait aux**

(1) Voir *Flightglobal.com* "NASA hints at truss-braced X-plane to test technologies for next commercial narrowbody" - <https://cutt.ly/WJSz6TG>

**États-Unis<sup>(2)</sup>. Les vols du démonstrateur devraient avoir lieu entre 2028 et 2030 dans le but de pouvoir sélectionner à temps les solutions du futur avion « vert » dont la mise en service est prévue à l’horizon 2035.**

**Sur la base d’un coût total estimé à cinq milliards d’euros, la contribution annuelle, sur huit années, d’un partenaire assumant 35% de part (exemple l’Allemagne ou la France) serait de 220 millions d’euros.**

**Cet investissement sera non seulement bénéfique à Airbus, aux fabricants de moteurs et à toute la chaîne d’approvisionnement, comprenant les systèmes/équipementiers, mais également aux établissements de recherche, aux universités et à toutes les installations d’essais associées qui devraient contribuer au démonstrateur.**

**Ce faisant, l’Europe<sup>(3)</sup> préparera le terrain pour l’avènement de l’aviation verte tout en préservant son savoir-faire sur le développement des avions de transport commerciaux, conservant ainsi sa prééminence mondiale.**

## Contexte

L’Europe a réussi à atteindre un niveau comparable à celui des États-Unis dans le secteur des avions de transport civils. Les principaux programmes de développement au cours de la première décennie de ce siècle – l’A380 et l’A350, puis l’A400M – ont renforcé la position de l’Europe. Cela est vrai pour l’avionneur Airbus, les fabricants de moteurs, toute la chaîne d’approvisionnement mais également pour les établissements de recherche, les universités et tous les centres d’essais associés.

## Comment préserver et renforcer les compétences européennes ?

La communauté aéronautique s’inquiète sérieusement du risque de perte de savoir-faire de développement d’un tout nouvel avion de transport civil commercial en Europe. En effet, depuis l’A350, lancé en 2007, aucun avion nouveau n’a été lancé, entraînant une utilisation insuffisante des ingénieurs expérimentés, parti-

---

(2) On peut citer, indépendamment d’un démonstrateur spécifique, le contrat unique exceptionnel de 23 milliards de dollars attribué à Boeing par l’US Air Force pour un nouvel avion de combat à livrer en 2023 (sic!) : voir Boeing mediaram "Boeing and U.S. Air Force Ink Historic Deal for F-15EX Fighter Jet" - <https://cutt.ly/nfSc4kB>

(3) D’autres pays européens pourraient rejoindre l’initiative de ces quatre pays.

culièrement dans les domaines critiques d'architectures des avions et d'intégration des grands ensembles. Ainsi le savoir-faire correspondant, très important, progressivement acquis sur les programmes successifs passés, s'érode-t-il. Dans quelques années, c'est pratiquement toute une génération d'ingénieurs aéronautiques en Europe qui n'aura eu aucune occasion d'appliquer et approfondir ses connaissances sur un nouveau programme, exigeant. Aussi faut-il trouver rapidement un développement compensatoire, même, si besoin était, expérimental.

## Qu'a changé la crise de COVID-19 à cet égard ?

Pour soutenir leur industrie, les gouvernements français et allemand ont augmenté les financements de R & D pour 2020, 2021, 2022, avec l'objectif de fournir des technologies pour les « Avions verts »<sup>(4)</sup>, qui seront partagées entre les applications correspondantes que sont les avions moyen/long-courriers, l'aviation régionale, l'aviation d'affaires, les drones, les hélicoptères et l'aviation générale. Pour l'application aux avions moyen-courriers, les pistes parallèles identifiées consistent en

a), le développement vers une grande efficacité énergétique, et b), le changement de configuration par étapes. Cela ouvrirait la voie à un successeur de la famille A320 avec un premier démonstrateur entre 2026 et 2028, et une mise en service envisagée à l'horizon 2035. C'est une très bonne nouvelle et le soutien public engagé sera extrêmement utile non seulement pour l'avionneur, mais également pour les motoristes, les installations d'essais, ainsi que pour l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement.

Mais avec une approche classique les risques suivants subsistent :

- le financement actuel, bien que convenable pour les solutions de recherche technologique pour les prochaines années, ne permet pas le développement d'un démonstrateur d'avion totalement nouveau et révolutionnaire ; et
- en raison du délai envisagé pour le démonstrateur initialement prévu, seules les technologies jugées matures seront appliquées afin d'atténuer les risques de développement.

Ainsi, verrons-nous très probablement des améliorations partielles en termes de performance, d'efficacité et de réduction des émissions, **mais les solutions à technologies disruptives et à configu-**

(4) Voir Dossier de presse - Plan de soutien à l'aéronautique - <https://cutt.ly/kfSvaMh>

**ration renouvelée nécessaires à l'atteinte du niveau de l'avion « vert » tant espéré<sup>(5)</sup> ne seront certainement pas suffisamment utilisées.**

## **Que manque-t-il pour atteindre l'objectif ambitieux de « décarbonisation » ?**

Il est communément admis que les très faibles émissions de l'aviation ne peuvent être abordées qu'en appliquant des technologies disruptives aux cellules, propulsions et systèmes des avions. Cet objectif est en mesure de changer significativement la façon dont l'avion « vert » sera conçu et à quoi il ressemblera par rapport à ce que nous avons vu dans le passé et même actuellement. Une approche holistique sera nécessaire, non seulement en continuant les développements incrémentaux de la conception de la cellule, avec des matériaux plus avancés et l'amélioration des moteurs, mais également en remettant en question toutes les étapes de développement avec un niveau d'intégration totale sans

précédent. Cela pourrait être le cas pour l'application de cycles de moteur avancés, y compris des pales à pas variable, un certain niveau approprié d'hybridation électrique, des processus de combustion optimisés, une conception structurelle poussée de la cellule, capable de résister aux charges de rafales et de manœuvres, atténuées grâce à des systèmes perfectionnés, le passage à une conception aérodynamique capable d'écoulement laminaire hybride ou naturel, la création d'une toute nouvelle configuration générale de l'avion avec une stabilité mécanique du vol réduite et fournissant, le cas échéant, le volume nécessaire aux réservoirs d'hydrogène liquide<sup>(6)</sup>, pour n'en citer que quelques-uns. L'intégration du moteur à la cellule jouera également un rôle majeur.

**Ce n'est qu'en appliquant des technologies révolutionnaires, en osant s'écarter de ce que nous savons, de ce que nous avons accompli jusqu'à présent, et en « pensant différemment » qu'un avion peut être créé qui émettra très peu et répondra aux objectifs environnementaux fixés pour le milieu de ce siècle.**

---

(5) Dans le but de réduire les émissions de gaz d'aviation pour minimiser les effets climatiques induits probables, il faut ajouter le simple besoin de réduire la consommation de kérosène fossile en raison de la possible crise après 2035 de sa disponibilité à des conditions commerciales acceptables, comme mentionné dans le Dossier n°38 de l'AEE et confirmé par diverses sources.

(6) Ou LH<sub>2</sub> pour hydrogène liquide.

## Comment développer un avion aussi « révolutionnaire » sans obérer notre avenir ?

La sécurité est primordiale dans l'aviation. Aucun développeur d'avion ne peut accepter des risques indus pour atteindre des performances supérieures ou des émissions fortement réduites. L'évaluation et l'atténuation des risques sont essentielles lors du développement d'un nouvel avion. Ainsi, une technologie pour laquelle le risque de défaillance est jugé trop élevé ne sera pas appliquée à un nouveau produit. En raison de ces faits, l'aviation est parfois considérée comme « conservatrice » par rapport à d'autres activités « avant-gardistes ».

Mais cette fois, l'approche « conservatrice » typique n'entraînera pas le « changement d'étape » nécessaire. Quelle est donc la solution ? La seule façon pour l'industrie aéronautique d'oser ce « changement radical » est de mûrir et de valider suffisamment les nouvelles technologies avant de les appliquer/intégrer dans un tout nouvel avion qui réponde à la fois aux attentes du marché et aux exigences

environnementales. Dans l'aviation, les programmes de recherches qui évaluent, mûrissent et valident les technologies sont courants. Mais il s'agit de technologies individuelles qui, si elles sont bien soutenues publiquement, ne vont pas au-delà d'un niveau de préparation technologique (TRL)<sup>(7)</sup> de 6. Or l'expérience passée montre que, a) **la démonstration doit aller bien au-delà du TRL 6** et b) **les nouvelles technologies doivent être testées et éprouvées de manière intégrée** afin d'en diminuer les risques.

Ces étapes, jusqu'aux niveaux appropriés d'intégration progressive (par ex. démonstrateur au niveau du moteur, démonstrateur des commandes de vol, etc.) sont nécessaires. Mais si toute une série de nouvelles technologies doit être validée de manière intégrée (en plus des validations conventionnelles des bancs d'analyse ou d'essais partiels), **la seule solution sera un démonstrateur global de technologie, volant**, qui augmentera les chances d'une application réelle ultérieure dans un nouveau programme d'avions du fait de la réduction/élimination des risques. Concernant les avions de transport civils, ce n'est pas encore l'approche des constructeurs d'avions (en Europe comme

(7) TRL : *Technology Readiness Level* – Niveau de maturité technologique – un critère adopté par la NASA pour surmonter l'insuffisance de maturité technologique lorsqu'elle est appliquée. Cette approche est aujourd'hui appliquée au secteur de la recherche aérospatiale dans le monde. Voir *NASA Technology Readiness Level* - <https://cutt.ly/dfSxjzu>



aux États-Unis). Pour Airbus, ce serait un vrai changement de paradigme.

## Pourquoi un démonstrateur volant de technologie – et à quoi devrait-il ressembler ?

Sans un démonstrateur volant pour intégrer et valider dans des conditions réalistes des technologies de changement significatif aucun avionneur n'osera intégrer ces technologies dans un nouveau produit en raison des risques importants, et n'atteindra donc pas les objectifs ambitieux. Des démonstrateurs partiels en vol et au sol peuvent suffire pour des ensembles de technologies appliquées à un équipement (y compris le moteur), mais pas pour les changements significatifs requis pour un avion « vert », pour lequel un niveau d'intégration sans précédent est attendu, quels que soient les choix technologiques encore à faire. Si nous voulons y parvenir dans les délais prévus, **un démonstrateur volant de technologie est indispensable**, capable d'intégrer toutes les technologies essentielles et interactives.

Il est important de noter qu'une ambition suffisamment élevée pour ledit démonstrateur garantirait que des milliers de collaborateurs existants, qu'ils soient architectes, intégrateurs ou même concepteurs de détails, maintiendront et amélioreront encore plus leur savoir-faire et leurs compétences<sup>(8)</sup> en appliquant des solutions de changements radicaux. En outre, un tel démonstrateur sera une occasion idéale pour les jeunes ingénieurs, aujourd'hui inexpérimentés, d'acquérir les connaissances nécessaires du développement, jusqu'à la certification d'un avion, qu'ils pourront utiliser ultérieurement aux futurs avions.

Bien sûr, c'est au constructeur aéronautique et à ses partenaires de définir le démonstrateur et les technologies qui devront y être incorporées, sachant que le futur produit devra répondre à la fois aux exigences du marché et aux exigences environnementales. **Mais afin d'obtenir une réduction maximale des risques avec les meilleures chances d'application, le démonstrateur de technologie devrait être suffisamment proche de ce futur produit en termes de taille, de configuration et de technologies critiques (sans oublier l'intégration, essentielle, cellule/moteur).**

---

(8) Pour cela, il est indispensable de veiller à garder suffisamment de personnels expérimentés et de ne pas les libérer massivement pour une retraite anticipée – comme cela s'est produit il y a quelque temps chez l'un des partenaires d'Airbus, entraînant une perte douloureuse de savoir-faire et d'expérience avec plusieurs Md.E de surcoûts de développements.

## Comment définir le démonstrateur de technologie ?

La définition du démonstrateur volant de technologie doit combiner une approche descendante (« *top-down* ») à une approche montante (« *bottom-up* »). Les constructeurs de cellule et de moteurs devant répondre à la fois aux exigences du marché et environnementales doivent définir le démonstrateur de technologie de manière descendante – issue des exigences – en termes de configuration et de technologies à intégrer. Cela comprend une feuille de route fixant la date de besoin et le niveau de maturité requis pour chaque technologie et pour chaque étape d'intégration. Les grands constructeurs, en interne, les membres de la chaîne d'approvisionnement (dont les fournisseurs de systèmes) et les établissements de recherche (RE) doivent travailler sur ces technologies, jusqu'au concept de démonstrateurs modulaires préindustriels, dans le cadre de programmes de recherche soutenus publiquement. Des propositions ascendantes de technologies proviendront des RE, de la chaîne d'approvisionnement, des producteurs de systèmes et des fabricants de moteurs – ces derniers seront très importants puisque la propulsion contribuera très probablement de manière

significative à la réduction des émissions elle-même (l'utilisation du LH<sub>2</sub> est particulièrement un grand défi), et l'intégration optimale dans la cellule aussi un défi mais un facteur-clé de succès.

Concernant la disponibilité à temps des démonstrateurs technologiques intermédiaires, du démonstrateur intégré de vol et de leurs résultats, il sera essentiel d'orchestrer correctement les activités des différents acteurs, indépendamment des sources de financement – qu'il s'agisse du « Clean Sky » européen, de programmes de recherche nationaux ou même régionaux –, en ayant pour objectif leur application ultérieure dans un nouvel avion de transport civil. Pour ce faire une organisation de management adéquate doit alors être mise en place.

Grâce à des approches correctement gérées pour les démonstrateurs de solutions technologiques intermédiaires et pour le démonstrateur global volant, les risques et calendriers de développement seront réduits pour les deux types de démonstrateurs.

Du côté de la cellule, ou des moteurs, la phase de conception du démonstrateur s'appuiera principalement sur les compétences en architecture et en intégration. En phase de développement, l'éventail complet des compétences en ingénierie,

qu'il s'agisse de travaux de définition non spécifiques ou de définition spécifique, sera nécessaire pour tous les acteurs.

À ce stade, il est extrêmement important de mentionner la nécessité d'avoir un réseau « vivant » de recherche avancée motivé par la nécessité de créer des applications concrètes sous la pression des utilisateurs de ces applications. Les universitaires ont un rôle important à jouer, notamment dans la mise en place et la validation de solutions radicalement nouvelles, par principe pas encore suffisamment connues. Des études théoriques au niveau académique avec des études ultérieures et des essais au niveau des établissements de recherche, comme le DLR en Allemagne, l'INTA en Espagne, l'ONERA en France et l'ATI au Royaume-Uni, seront nécessaires.

De leur côté, le rôle des universitaires est étendu. Il va des aspects éducatifs au développement de solutions théoriques et pratiques (thèses). Leur maintien au plus haut niveau mondial dépend du lancement régulier, en Europe, de nouveaux programmes présentant des défis en Europe.

L'Annexe 2 (voir fin) résume différents aspects des compétences nécessaires en physique de vol pour développer un programme d'avion entièrement nouveau.

## **Coûts, calendrier et financement d'un démonstrateur volant de technologie**

Un démonstrateur de technologie de vol comportera deux éléments de coûts : le démonstrateur lui-même (développement, construction et vols d'essais, analyse des résultats) et le développement et la validation des ensembles de technologies qui le constituent. À noter que ces derniers doivent être bien adaptés et suffisamment matures pour garantir des opérations fiables et sûres du démonstrateur.

Selon sa taille et sa proximité avec la configuration du produit final, le démonstrateur volant aura un coût de quatre à cinq milliards d'euros (phase de définition incluse), et nécessitera six à huit ans pour être développé et testé. La phase de pré-définition initiale au début de programme, aboutissant à une configuration acceptable du démonstrateur utilisant une approche « descendante » des technologies requises, prendra environ deux ans. Se chevauchant avec la phase de définition et se poursuivant sur trois à quatre années supplémentaires, les technologies de détail seront développées et validées jusqu'à un certain niveau d'intégration (par exemple le moteur) (jusqu'à TRL 6) dans le cadre de divers programmes de recherche tels que Clean

Sky 3 / Clean Aviation, les programmes de recherche nationaux comme le LuFo en Allemagne, le CORAC en France, ou l'ATI au Royaume-Uni, voire même des programmes de recherche régionaux. Préalablement ces technologies auront été sélectionnées pour le programme de démonstration comme visant un avion de transport commercial « vert » ou « climatiquement neutre ». Un financement complémentaire pourrait s'avérer nécessaire pour ces programmes si toutes les technologies requises n'étaient pas couvertes.

Globalement, et en tenant compte des chevauchements raisonnables, le programme du démonstrateur volant de technologie prendra entre huit et dix ans.

Avec les programmes de recherche en développement technologique aidés financièrement à la hauteur usuelle, compte tenu de la situation financière critique due à la crise de COVID-19, l'avionneur, les fabricants de moteurs, les fabricants de systèmes et les fournisseurs impliqués ne seront pas en mesure de financer leurs activités correspondantes au niveau requis dans des délais acceptables. **Par conséquent, le démonstrateur volant de technologie nécessitera un financement public spécial devant aller bien au-delà du taux habituel de 50 % de financement public, réparti sur sa durée.**

## Pourquoi un démonstrateur volant de technologie d'un avion commercial maintenant ?

L'Union européenne s'est engagée à atteindre l'objectif ambitieux de réduction significative des émissions dus à l'aviation d'ici au milieu du siècle. Pour l'atteindre, la mise en service d'un premier avion « vert » doit avoir lieu au milieu de la prochaine décennie. Pour y arriver, le développement d'un tel avion doit débuter à la fin de la présente décennie. Tenant compte du temps total du programme de huit à dix ans pour le programme de démonstration, **ce dernier** – avec les étapes nécessaires – **doit être lancé très tôt** afin d'obtenir des résultats d'ici à la fin de la présente décennie. Dans ces conditions il ne serait pas perdu de temps pour atteindre l'objectif fixé pour 2050.

Remarques : il est intéressant de mentionner que :

- les démonstrateurs volants sont considérés comme des étapes normales pour les programmes militaires avancés (par exemple en Europe : Rafale A, nEUROn, ou même le chasseur de nouvelle génération pour le système aérien de combat du futur européen) et ce pour exactement les mêmes raisons de minimisation des risques ;

- il faut différencier ce nouveau démonstrateur d'avion volant complet d'autres démonstrateurs partiels comme le BLADE expérimenté sur un A340 ou d'autres installés sur des avions existants ;
- il est clair que les acquis de ce projet ambitieux donneront lieu à des applications bénéfiques également sur les avions régionaux ainsi que sur les avions d'affaires ; et
- en toute logique, il en sera de même pour les applications sur les long-courriers, comme ce fut le cas après la mise en service de l'A320.

## Conclusion

La crise de COVID-19 a des conséquences financières dramatiques pour l'aviation, tant pour les compagnies aériennes que pour les fabricants d'avions, de moteurs, de systèmes, et pour la chaîne d'approvisionnement, aussi les gouvernements font beaucoup pour soutenir le secteur. Le plan de soutien à l'aéronautique du gouvernement français a ouvert la voie et l'on s'attend à ce que d'autres pays en Europe, également concernés, en fassent de même. L'Allemagne, de son côté, a déjà lancé le sien.

La pandémie de la COVID-19 a mis encore davantage en lumière la nécessité de lutter contre le réchauffement climatique du fait des risques majeurs encourus par la population mondiale. Aussi d'importants efforts sont demandés à l'aviation pour limiter son impact sur le climat. Une partie de cet effort sera le développement en temps voulu d'un avion « vert », en particulier dans la catégorie des avions de transport commerciaux. La solution classique d'amélioration en appliquant progressivement de nouvelles technologies dans le produit suivant ne sera pas suffisante pour atteindre l'objectif ambitieux fixé pour 2050. Il ne pourra être atteint que par des changements radicaux contenant des solutions disruptives et, selon toutes les indications, un niveau d'intégration multidisciplinaire sans précédent. Pour respecter les exigences de sécurité primordiales, les technologies concernées doivent être mûries et validées en amont à un niveau qui ne peut être atteint qu'en utilisant **un démonstrateur volant de technologie** aussi proche que possible de l'avion « futur ». Il s'agit d'une nouvelle approche pour les avionneurs, tant en Europe qu'aux États-Unis (dans ce pays il existe le gros support de la NASA<sup>(9)</sup>, entre autres). En Europe les constructeurs de cellules et de moteurs ainsi que toute la

---

(9) Voir note 1.

communauté aéronautique impliquée dans le développement et la production d'avions de transport commerciaux doivent être soutenus dans la gestion de ce changement de paradigme pour le double avantage de maintenir une position mondiale de premier plan et de contribuer à protéger le climat.

**Alors que le développement des technologies est plutôt bien engagé, les quatre nations qui sont à l'origine d'Airbus, la France, l'Allemagne, l'Espagne et le Royaume-Uni devraient lancer le principe d'investissements complémentaires et appropriés afin de financer le démonstrateur volant de technologie requis (à l'instar de ce qui se fait aux États-Unis<sup>(10)</sup>).**

Par exemple, sur la base d'une estimation de coût de cinq milliards d'euros, la contribution annuelle sur huit ans d'une nation supportant 35% (ex. l'Allemagne ou la France) serait de 220 millions d'euros.

**Cet investissement sera bénéfique non seulement pour Airbus, mais aussi pour les fabricants de moteurs, toute la chaîne d'approvisionnement y compris les fabricants de systèmes, sans oublier les établissements de**

**recherche, les universités et les installations d'essais associées qui contribueront au démonstrateur.**

**Ce faisant, l'Europe (les quatre grandes nations d'Airbus avec, éventuellement, d'autres nations européennes prêtes à rejoindre « le club ») préparera le terrain pour une aviation verte tout en préservant son savoir-faire de développement pour les avions de transport commerciaux.**

---

(10) Voir note 2.

## **APPENDIX 1: MEMBERS OF THE AD HOC AAE-DGLR WORKING GROUP**

### **Membres du groupe de travail ad hoc AAE-DGLR Mitglieder der AAE/DGLR-Arbeitsgruppe**

**The present Opinion is the result of a joint exercise undertaken by a mixed team of members from the Air and Space Academy (AAE) and the Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt e.V. (DGLR).**

Le présent avis est le résultat d'un exercice conjoint entrepris par une équipe mixte de membres de l'Académie de l'air et de l'espace (AAE) et de la Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt e.V. (DGLR).

Das vorliegende Positionspapier ist das Ergebnis der gemeinsamen Arbeit einer gemischten Arbeitsgruppe, bestehend aus Mitgliedern der Académie de l'Air et de l'Espace (AAE) und der Deutschen Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt e.V. (DGLR).

- André Bord (AAE)
- Wolfgang Engler (AAE)
- Philippe Escarnot (invited expert/expert invité/beteiligter Experte)
- Axel Flaig (AAE and DGLR)
- Jean-Michel Fourtanier (AAE)
- Pierre Froment (invited expert/expert invité/beteiligter Experte)
- Alain Garcia (AAE)
- Patrick Gavin (AAE)
- Mario Heinen (invited expert/expert invité/beteiligter Experte)

- Rolf Henke (DGLR)
- Ernst H. Hirschel (AAE)
- Jürgen Klenner (AAE and DGLR)
- David Marshall (AAE)
- Rolf Radespiel (DGLR)
- Cord Rossow (DGLR)
- Peter Schmollgruber (invited expert/expert invité/beteiligter Experte)



## APPENDIX 2 : HIGH-FIDELITY MULTIDISCIPLINARY PRELIMINARY AIRCRAFT DESIGN

### Tool capabilities, user competencies, application scenarios in flight physics

The following considerations are focused on high-fidelity multidisciplinary flight physics design tools. High-fidelity design means that the corresponding methods and tools are based on “first principles”, i.e. the underlying physics are represented by their fundamental laws. High-fidelity simulations require the use of Computer Aided Design (CAD) tools for geometry definition, and at least Computational Fluid Dynamics (CFD) and Computational Structural Dynamics (CSD) for flight physics analysis. Due to the computational effort, such simulations have to be run on High Performance Supercomputing (HPC) systems.

To get the full benefit of high-fidelity tools for future designs, it is a prerequisite to establish a “fully digitalized” company environment which allows seamless and consistent data and information access. “Full digitalization” is assumed to be an absolute prerequisite for future economic competitiveness. Therefore, it will not be addressed but considered as a “secondary virtue” which must be mastered by every company anyway (aerospace or non-aerospace).

#### *Definitions (partly based on Raymer, 1992)*

- **Feasibility phase:** definition of “Top Level Aircraft Requirements” (TLARs) based on market, customer, company, and certification requirements by taking into account available and achievable technology levels.
- **Conceptual aircraft design:** definition of configuration arrangement, size, weight, performance; result is an aircraft configuration which meets the TLARs.

- **Preliminary aircraft design:** the configuration is mainly assumed to be frozen, definition of outer skin shape and inner structure (e.g. wing box) with respect to performance and loads requirements; result is a full-scale development proposal.
- **Detailed aircraft design:** design of actual parts/systems to be built including fabrication and production requirements; result is the fabrication of the aircraft.

In Airbus terminology, preliminary aircraft design is part of “non-specific design work”, and detailed design falls in the category “specific design work”.

### *Capabilities of tools for preliminary aircraft design*

- The main tools are based on “first principles”, i.e. the underlying physics are represented by their fundamental laws.
- All tools are acting on a general master model which is documented and which is tracking all changes.
- All tools allow for coupling of the main disciplines relevant for flight physics assessment (e.g. aerodynamics, structures (stiffness & masses), and systems (flight control for trim & redistribution of loads)).
- Multidisciplinary simulation methods can be run in analysis (performance assessment with highest accuracy) mode as well as in design (optimization with all relevant forces considered) mode to ensure data consistency for the different applications.
- Modeling representation may vary from fast & approximate to costly & accurate (e.g. structural representation by beam or FE model), but all model properties are tied and consistently checked with the master model (e.g. beam properties are continuously updated with the FE model).
- Local design changes (e.g. airfoil changes) are possible to allow designers “free space”, but results are always directly linked to and checked by integration into the multidisciplinary master model to enable direct feedback of the impact of such local changes on overall performance.
- The “loads process” is broken down into clearly defined components to provide designers with the full understanding of arising restrictions when the aircraft operates at the borders of the flight envelope.
- A “loads hierarchy” is established as early as possible and continuously updated to incorporate the relevant loads cases early and directly into the design process.

- The “hierarchy of loads” will change during design iterations; these changes are assessed by data analytics methods (e.g. machine learning, artificial intelligence, ...) to gain a full understanding of the mutual interdependencies to improve future designs.
- Multidisciplinary optimization routinely includes a loads process, preferably with critical cases identified beforehand to reduce computational effort.
- Multidisciplinary design can be performed either by direct solution of equations (e.g. CFD/CSM) or by using appropriate surrogate models (e.g. established by machine learning, etc.).
- Aerodynamic data are generated by numerical as well as experimental (wind tunnel) simulation, whichever is more efficient; data consistency is established by data fusion using data analytics methods (SEN: Synthesis of Experiment and Numerics).
- When targets from conceptual design are not met, conceptual design parameters (e.g. planform size, wing sweep, aspect ratio) are incorporated into the high-fidelity design process while still respecting major dependencies (e.g. fuel volume, trim & control, landing gear requirements); the resulting design is then again assessed by conceptual design methods to check TLAR compliance.
- All data generated during all design processes are collected in company data bases; data analytics methods (especially artificial intelligence) make these data available for current and future designs to continuously enlarge and update the knowledge base of the company (inherent knowledge capturing).
- All tools are supported by accompanying artificial intelligence algorithms to enhance applicability and design decisions.
- HPC resources are seamlessly accessible from every workplace.

### ***Designer and Engineer (D & E) competencies for preliminary aircraft design***

- All (!) D & E active in preliminary aircraft design must have a basic training in conceptual aircraft design to develop and continuously extend their knowledge of the sensitive interdependencies which drive full aircraft design.
- All D & E in preliminary aircraft design must have a basic understanding of the loads process to identify the origin of restrictions occurring during the design process.
- All D & E should at least once visit production lines.
- The disciplinary designers (which will be still required!) have to understand the reasons for arising restrictions to enable “educated trading” with specialists from other disciplines

when conflicts with the specified targets arise; multidisciplinary optimization will not resolve intrinsic and/or hidden conflicts.

- D & E need to be fully “fluent” in the use of CAD tools, and should have a basic understanding of all disciplinary high-fidelity tools (e.g. CFD, Finite Elements) to know the inherent sensitivities and limitations.
- All D & E should be well acquainted with employing data analytics methods (e.g. machine learning, artificial intelligence, etc.) to support their own decisions, without however giving up a basic physical consistency checks based on “gut feeling”.
- Data analytics methods should permanently be used to train and hone the “engineering judgement” competencies (“gut feeling”) of D & E.
- Data analytics methods should be used ubiquitously but with care: such methods are very well suited to finding patterns and correlations (extracting the “what”), but they do not give reasons for interdependencies (explaining the “why”).

### *Application scenarios*

- The application of high-fidelity multidisciplinary design tools is requiring extensive skills and continuous training of D & E.
- Do not expect that new tools which were not put to practical use before, can be efficiently employed in an actual aircraft design process.
- The design process itself depends substantially on the tools employed; therefore appropriate efficient design processes need particular “apply, check, learn, change, re-apply” phases for their maturation.
- High-fidelity multidisciplinary design tools inherently account for disciplinary interdependencies, essentially they automatically reflect the “concurrent engineering” philosophy; as a consequence, when properly applied significant reduction of design time and risk should be realized.
- To leverage the full potential of high-fidelity tools, users need routine and confidence in application, judgement and design decisions; therefore design exercises are an absolute prerequisite before employing such methods in an actual aircraft design.
- It is well advised to validate the results of a newly defined high-fidelity based design process against known state-of-the-art top level aircraft designs.

- The flight physics redesign of the A350 may serve as an appropriate example: the TLARs are known, time & effort of the original process are known together with corresponding deficiencies & errors; a newly defined design process with high-fidelity tools should be executed in competition to quantify potentials and to cure deficiencies.
- Define TLARs and perform conceptual design for an “exotic” configuration with advanced technologies; then apply the validated high-fidelity design process to get experience for application in a difficult and contradicting design space.
- Dismiss the slogan of “first time right – right first time”: multidisciplinary high-fidelity tools are complex and demanding, consequently D & E must be experienced in their application. According to common sense, “experience is the sum of all errors”, and therefore one has to provide D & E the possibility to acquire and enhance professional experience, before starting an ambitious industrial design program with very tight budget and time restrictions.

© Académie de l'air et de l'espace / Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt  
September 2020. All rights reserved.  
Dépôt légal octobre 2020

ISBN 978-2-913331-85-3  
ISSN 2426 3931

Crédits images couverture: A.Ribes

Achévé d'imprimer octobre 2020  
Imprimerie LES CAPITOULS  
2 Chemin de Rebeillou - 31130 FLOURENS  
BP 83117 - 31131 BALMA CEDEX - FRANCE

ACADÉMIE DE L'AIR ET DE L'ESPACE

Ancien observatoire de Jolimont

1 avenue Camille Flammarion

31500 Toulouse – France

contact@academie-air-espace.com • Tel : +33 (0)5 34 25 03 80

www.academieairespace.com

DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR LUFT- UND RAUMFAHRT

Lilienthal-Oberth e.V.

Godesberger Allee 70

53175 Bonn

info@dglr.de • Tel +49 (0)228 308050

www.dglr.de



ISBN 978-2-913331-85-3

ISSN 2426 3931

10€