The Association of
United States and European
Aerospace Industry Representatives

&

Présentent le

10ÈME USAIRE STUDENT AWARD

- 2015 -

Avec le parrainage de Monsieur Emmanuel MACRON

Ministre de l'Economie, de l'Industrie et du Numérique

*

2030,
La question environnementale
dans le modèle économique de l'industrie aéronautique
civile et de défense.

*

* *

*

2030,
The environmental issue in the business model of
civil and defence aerospace industry

*

Préface

Le secteur aéronautique est au cœur des relations économiques entre l'Europe et les Etats-Unis, où s'illustrent la force de notre savoir-faire français et sa réussite à l'international. Il est impératif d'en préserver l'excellence et le dynamisme, et donc la qualité des hommes et des femmes qui en sont la source – et c'est ce à quoi contribue l'USAIRE, à travers le *Student Award* depuis sa création par Michel Dubarry il y a 10 ans.

D'abord, le *Student Award* nourrit et récompense deux valeurs fondamentales qui font la grandeur de l'aéronautique : la culture de l'excellence et la passion du métier. D'une part, il encourage les étudiants à développer – en marge d'études exigeantes – des facultés qui sortent de leur champ immédiat de compétences, les préparant ainsi à ne jamais renoncer devant l'effort. D'autre part, il alimente la passion unique qui fait le succès de l'aéronautique, forte de ses gloires et de ses rêves. C'est pour faire honneur à une haute idée de l'aéronautique que se rassemblent, avec ce concours, des étudiants et des membres du jury de tous horizons – de l'industrie à la Direction Générale de l'Aviation Civile, en passant par la Direction Générale de l'Armement et de l'Armée de l'Air. Notre pays a aussi besoin de cette ambition et de ce goût de la réussite. Je veux saluer l'action des finalistes du concours de ces 10 dernières années qui, rassemblés dans l'association ORAJe, s'efforcent de communiquer à leur tour ces valeurs.

Ensuite, l'USAIRE *Student Award* rappelle qu'on ne réussit pas tout seul. L'épreuve récompense le savoir spécialisé et la curiosité individuelle, autant qu'elle valorise le travail d'équipe et l'effort commun. Elle fait naître le type d'échanges et de synergies qui font la vitalité de notre économie. D'un côté les étudiants bénéficient du soutien de leurs ainés, qui les aident à mieux connaître leur secteur de prédilection, ses acteurs, ses règles, ses métiers. En retour, l'industrie s'enrichit des forces vives et des idées fraîches apportées par nos jeunes, par l'intermédiaire de ce concours.

Enfin, l'USAIRE *Student Award* est un formidable tremplin vers les métiers du secteur. Il vient parachever l'excellence académique des élèves en la complétant par une approche pratique de leur futur environnement professionnel. Pour beaucoup d'étudiants, ce concours constitue le premier pas aux côtés des grands acteurs de l'aéronautique, et à sa façon, le chaînon manquant entre parcours universitaire et début de carrière professionnelle. Nous avons besoin de ces initiatives, qui assurent un passage de témoin essentiel entre générations, entre actifs et futurs professionnels, et qui préparent, au bout du compte, l'avenir économique de notre pays.

Bravo à l'association USAIRE et à son président Pascal Parant, et félicitations aux lauréats de l'USAIRE *Student Award* !

Emmanuel MACRON
Ministre de l'Economie, de l'Industrie et du Numérique
Parrain de l'USAIRE Student Award 2015

Aviation Sans Frontières
les Ailes de l'Humanitaire

780 bénévoles sur tous les terrains

360 réfugiés accompagnés vers une nouvelle vie

1360 heures de vol, soit 9 fois le tour de la Terre avec ses propres avions

32 tonnes de produits de première nécessité pour 34 pays

120 prises en charge d'enfants malades

En France, 320 vols découverte pour plus de 660 personnes handicapées

5960 colis médicaux acheminés dans 26 pays

330 jeunes en difficulté scolaire ou socialement isolés qui ont découvert le monde de l'aérien

AVIATION SANS FRONTIÈRES FRANCE

www.asf-fr.org

Soutenez Aviation Sans Frontières

À découper et à retourner à Aviation Sans Frontières
Orly Fret 768 – 94398 Orly Aérogare Cedex

Mes coordonnées (titulaire du compte à débiter)

Nom : ....
Prénom : ....
Adresse : ....
....
....
Code Postal : ....
Ville : ....
Email : ....

Les données recueillies vous concernant sont nécessaires au traitement de votre don et à l'émission de votre reçu fiscal. Conformément à la loi Informatique et Libertés, vous disposerez d'un droit d'accès, de rectification, de radiation sur simple demande écrite à Aviation Sans Frontières, Orly Fret 768, 94398 Orly Aérogare Cedex. Vos coordonnées peuvent être communiquées à d'autres organismes ou associations partenaires d'Aviation Sans Frontières, sauf avis contraire de votre part en cochant la case ci-contre ☐

Je fais un don ponctuel d'un montant : .... €

Je fais un don régulier par prélèvement automatique
(merci de remplir l'autorisation ci-dessous et de la renvoyer accompagné de votre RIB)

Mandat de prélèvement SEPA

Bénéficiaire : Aviation Sans Frontières **ICS :** FR55ZZZ459188

J'autorise l'établissement teneur de mon compte à prélever la somme de :
.... € correspondant à mon soutien à Aviation Sans Frontières, de façon régulière, c'est-à-dire :

☐ une fois par mois
☐ une fois par trimestre
☐ une fois par an (cochez la case choisie)

Je souhaite faire commencer les prélèvements à partir du 1/5/_/_/2/0/1/_/
☐ J'accepte de recevoir mon reçu fiscal par e-mail.

Mes coordonnées bancaires :

_/ _/_/_/
Numéro d'identification international de votre compte bancaire IBAN (International Bank Account Number)

_/_/_/_/_/_/_/_/_/_/_/_/
Code International de votre banque BIC (Bank Identifier Code)

Type d'encaissement : récurrent **Date :** _/_/ _/_/ _/_/_/_/
Lieu : .... **Signature :** ....

66% de votre don sont déductibles de vos impôts dans la limite de 20% de votre revenu imposable. Un reçu fiscal annuel vous sera envoyé.

Votre Référence Unique de Mandat (RUM) vous sera communiquée après l'enregistrement de votre prélèvement. En signant ce formulaire de mandat, vous autorisez Aviation Sans Frontières à envoyer des instructions à votre banque pour débiter votre compte et votre banque à débiter votre compte conformément aux instructions d'Aviation Sans Frontières. Le premier versement pourra avoir lieu au plus tôt 5 jours après signature du présent document. Vous bénéficiez du droit d'être remboursé par votre banque selon les conditions décrites dans la convention que vous avez passé avec elle. Toute demande éventuelle de remboursement devra être présentée dans les 8 semaines suivant la date de débit de votre compte pour un prélèvement autorisé et sans tarder et au plus tard dans les 13 mois en cas de prélèvement non autorisé. Vos droits concernant le présent mandat sont expliqués dans un document que vous pouvez obtenir auprès de votre banque.

Partenariat Usaire-Aviation sans Frontières
Découverte des activités de La Réunion

Par Cyprien Canivenc, Lauréat 2014

Dans le cadre de l'*Usaire Student Award* et au cours des 21, 22 et 23 avril 2015, j'ai découvert à La Réunion les activités d'Aviation sans Frontières. Pour être courte, cette initiation à l'humanitaire n'en était pas moins inoubliable. Je garderai notamment à l'esprit le dévouement des bénévoles qui expriment, chacun à leur manière, leur solidarité par des actes concrets.

Patrick Meneguzzi, coordonne une activité de messagerie médicale qui, en vingt ans, a acheminé 7 000 colis de médicaments et de matériel médical dans l'Océan Indien.

Grâce à cette logistique, c'est tout un écosystème humanitaire qui prend vie, à la Réunion, à Madagascar, aux Comores, à Mayotte. Le Docteur Koytcha, président de Médecins de l'Océan Indien (M.O.I.), a exprimé avec émotion sa reconnaissance pour Aviation sans Frontières : « *sans cette association, M.O.I. ne serait pas ce qu'elle est aujourd'hui* ». Avec l'appui logistique fourni par Aviation sans Frontières, M.O.I. soigne effectivement plus de 20 000 malgaches par an, pour un coût moyen de consultation de 5€. Grâce à ce partenariat, M.O.I. économise par ailleurs 9 000€ en frais de transport, soit l'équivalent de 1 800 consultations supplémentaires chaque année.

Patrick Meneguzzi est également engagé dans le soutien à l'activité d'accompagnement d'enfants malades, partant des Comores pour se faire soigner en France.

Christian Galley, se démène pour offrir à de jeunes Réunionnais une autre vision de leur île et leur faire oublier, le temps d'un baptême de l'air, leurs difficultés médicales ou sociales.

Pour mener ces trois activités réunionnaises (Messagerie médicale, Accompagnement d'enfants malades, Les Ailes du sourire), Aviation sans Frontières a conclu un triple partenariat avec la compagnie aérienne française Air austral, renouvelé à l'occasion de cette découverte des activités.

Je perçois finalement que le rôle central joué par les bénévoles d'ASF masque l'implication de dizaines de volontaires, intervenant tout au long d'une chaîne humanitaire basée à l'aéroport Roland Garros. Pour reprendre l'expression de Saint-Exupéry, chaque maillon y « est responsable de tous ». De la Chambre de commerce et d'industrie à la Douane, des compagnies aériennes aux sous-traitants, chaque acteur contribue à bâtir une vision du monde commune.

Un grand merci à l'Usaire et Aviation sans Frontières pour m'avoir offert l'opportunité de découvrir ce monde de l'humanitaire.

Cyprien Canivenc, *Lauréat 2014 de l'Usaire student award. Etudiant.*

Premier Prix

Marie PETREQUIN et Michaël TIBERGHIEN
Centrale Paris-ESSEC & ESTACA
Page 15

*

Deuxième Prix

Sophie MOUTET et Frédéric NORMAND
ENSIACET & ESTACA

Page 49

*

Troisième Prix

Julien LEFORT et Romain BOUCHET
ISAE Supaéro

Page 85

*

Quatrième Prix

Agathe DOUCET et Victor DESCHAMPS
ESDES & Ecole des Mines d'Alès

Page 109

*

Prix spécial du Jury

Yann WENDEL et Thomas KEFALAS
(SciencesPo-Paris II / SciencesPo-HEC)

Page 125

Premier Prix

Deux stages au sein d'**Airbus Group**
Un aller-retour à Singapour pour deux personnes avec **Singapore Airlines**
Une visite du site de **Rolls-Royce** à Singapour
Deux chèques de 700 euros offert par **USAIRE***

Deuxième Prix

Un aller-retour pour deux personnes offert par **Qatar Airways**
Deux caméras offertes par **Panasonic Avionics**
Deux chèques de 500 euros offert par **USAIRE***

Troisième Prix

Un aller-retour pour deux personnes offert par **Transavia**
Deux caméras offertes par **Panasonic Avionics**
Deux chèques de 250 euros offerts par **USAIRE***

Quatrième Prix

Un aller-retour pour deux personnes avec **Air Méditerranée**
Deux caméras offertes par **Panasonic Avionics**
Deux chèques de 250 euros offerts par **USAIRE***

Prix Spécial du Jury

Une découverte de **Marshall Aerospace and Defence Group** à Cambridge
Une découverte des activités d'**Aviation Sans Frontières**
Deux chèques de 250 euros offert par **USAIRE***

Tous les lauréats bénéficient des prix suivants:

Un an d'abonnement offert par le magazine **Air et Cosmos**
Une matinée de formation + coaching individuel chez **Michael Page**

**L'enveloppe offerte par USAIRE couvre les frais induits par le Student Award.*

Les Membres du Jury 2015

Jan Joel ANDERSSON
ISS Europa

*

Franklin AUBER
Singapore Airlines

*

Carl CHEVILLON
Raytheon

*

David COOK
ASL CONSULTING - RAeS

*

Nathalie DOMBLIDES
DGAC

*

Patrick DUFOUR
DGA

*

Henry de FREYCINET
Michael Page

*

Jean-Marc FRON
Boeing

*

Pascal HUET
Airbus

*

Henri HURLIN
Aviation Sans Frontières

*

Andrew LOVELL
Marshall Aerospace

*

Pascal PARANT
AAR Corp – USAIRE

*

Hadrien RHONAT
Rolls-Royce

*

Hervé de SAINT-EXUPERY
Armée de l'Air

*

Bruno STOUFFLET
Dassault

*

Jacqueline SUTTON
Rolls-Royce

*

Merci à nos sponsors pour l'impression de ce livret:

The Association of
United States and European
Aerospace Industry Representatives

10ÈME STUDENT AWARD
- 2015 -

Premier Prix

Marie PETREQUIN & Michaël TIBERGHIEN

Centrale Paris-ESSEC & ESTACA

« Marie Petrequin est en stage de fin d'études chez Dassault Aviation sur le site d'Argenteuil, point final d'un double-diplôme Ecole Centrale Paris-ESSEC. Depuis longtemps, l'aéronautique est pour elle une passion, qu'elle concrétise en passant le BIA (Brevet d'Initiation Aéronautique) en 2006 puis en pratiquant le planeur. Elle entre à Centrale en 2011 et suit l'option Aéronautique en 3e année. C'est lors d'un stage à Brême chez Airbus qu'elle rencontre Michaël…

Michaël Tiberghien est lui aussi fasciné par les avions. Au collège, il découvre le secteur de la maintenance aéronautique via un stage à Orly et confirme sa volonté de travailler au plus proche des avions. À 18 ans, entrant à l'ESTACA, il devient membre du bureau de l'association aéronautique. En 2013, interpellé par son accent, il fait la connaissance de Marie dans un tramway allemand…

Le concours USAIRE fut pour nous une belle occasion de reprendre contact autour d'un sujet qui nous passionne. Nous avons cherché à produire un essai plaisant à lire et répondant à notre fil directeur : jusqu'où et comment pourrons-nous rendre l'industrie aéronautique plus respectueuse de notre planète ?»

Marie Pétrequin et Michaël Tiberghien

Le Jury a apprecié la qualité et la clarté de cette excellente démonstration, qui ne laisse rien de côté et qui formule en même temps des choix stratégiques audacieux.

PETREQUIN Marie
Centrale Paris & ESSEC, équivalent 3e année
TIBERGHIEN Michaël
ESTACA, 3E année

USAIRE

USAIRE Student Award 2015

« 2030 : la question environnementale dans le modèle économique de l'industrie aéronautique civile et de défense. »

SAVOIR FAIRE AVEC

Environnement et aéronautique en 2030 : JUSQU'OU IRONS-NOUS ?

Etat des lieux : Quelques technologies prometteuses dormant dans les labos, ou comment l'environnement change petit à petit le monde aéronautique

2030 : Optimum atteint, ou révolution d'un modèle assis depuis des décennies ?

Quels acteurs pour ces changements ?

Edito

A ce jour, le secteur aéronautique représente environ 35% des échanges commerciaux dans le monde et emploie 5,5 millions de personnes. On prévoit une évolution annuelle du trafic aérien comprise pour les 20 prochaines années entre +5 et +10%, autant dire qu'il doublera en 15 ans ! En parallèle, le secteur aéronautique est dit responsable aujourd'hui de 8% des émissions liées au transport, soit 2% des émissions humaines totales de CO_2 *(ndlr : chiffres du GIFAS, [1])*. L'évolution vers un transport durable est donc nécessaire tant sur la limitation du bruit que sur les émissions de gaz et la qualité de l'air, et ce dans une triple logique d'économies, de raréfaction des énergies fossiles et de réduction de l'impact environnemental. Pour ce faire, les industriels français, européens et mondiaux se sont regroupés dans de multiples programmes pour atteindre les objectifs ACARE définis en 2004.

Tout d'abord, nous ferons un point sur la situation actuelle : les dernières avancées techniques ont-elles de l'avenir ? Pourquoi sont-elles là, et quelles sont les réglementations ou leviers qui poussent les industriels à innover ? En bref, où en sommes-nous en termes d'impact environnemental dans l'aviation ? Puis, il sera présenté les innovations espérées à moyens et longs termes avec leurs atouts, leurs inconvénients et les difficultés techniques.

Dans **ce numéro spécial « aéronautique et environnement en 2030 »**, nous avons cherché à nous projeter dans 15 ans : en 2030, les technologies dormant dans les labos seront-elles appliquées sur les avions, et pourquoi ? Le modèle en place dans le monde aéronautique, aussi bien civil que militaire, aura-t-il changé, et dans quelles mesures ?

Dans 15 ans, ne serait-ce pas le modèle tout entier du transport aérien qu'il faudra changer voire réinventer pour espérer continuer à diminuer son empreinte écologique ? Au-delà des technologies, il faut se demander si les industriels auront toujours un intérêt à continuer les recherches pour l'environnement, et pourquoi ?

Au fond, « L'Homme est la mesure de toute chose » *(Platon)*, et sans lui, rien ne se fera, alors quels seront les acteurs de ces sujets si brûlants en cette année 2015 de COP 21 ?

Sommaire

P.3 **Environnement et aéronautique : état des lieux**

Les points forts, faibles et à étudier

Les lois, institutions et projets

6 thématiques brûlantes

P.9 **2030 : Optimum atteint, ou révolution d'un modèle assis depuis des décennies ?**

L'environnement en aéronautique, ou la pression d'un modèle économique bien en place

2030, une année charnière ?

Quels acteurs de la chaîne de valeur pour demain ? P.16

2030 : de nouveaux acteurs et partenariats pour la question environnementale dans le secteur aéronautique

L'Etat et les institutions : carotte ou bâton ?

Conclusion P.20

Bibliographie P.22

Annexes P.24

Interviews

Ndlr : A la fin de ce numéro spécial, pour plus d'approfondissements sur le sujet, nous avons mis à disposition de nos chers lecteurs les interviews de personnes travaillant sur les questions environnementales dans de grandes industries aéronautiques, auxquels nous nous référons dans ces articles et qui nous ont aidés à construire notre réflexion.

Environnement et aéronautique : état des lieux

Les points forts des dernières innovations

Entre 1960 et 2010, les rejets de NO_x ont été divisés par 4, la consommation de carburant par 5 pour atteindre de nos jours 3 litres pour 100 km sur un A380 rempli à 80% *(cf figure 1 ci-contre)*. Le bruit a quant à lui été divisé par 10 ! Autant de chiffres qui prouvent que le secteur aéronautique a toujours été soucieux d'améliorer son empreinte sur l'environnement. Aujourd'hui, dans un contexte de révolution énergétique, l'avion atteint des chiffres de consommation équivalents à un déplacement en voiture, avec une sécurité bien meilleure. Il s'agit du fruit d'investissements ayant permis des améliorations technologiques incroyables, et, en se tournant vers l'avenir, nous pouvons avoir bon espoir quant au défi de la transition énergétique.

Axe des ordonnées : Carburant consommé par passager au km. Valeur de référence (100) : Comet-4

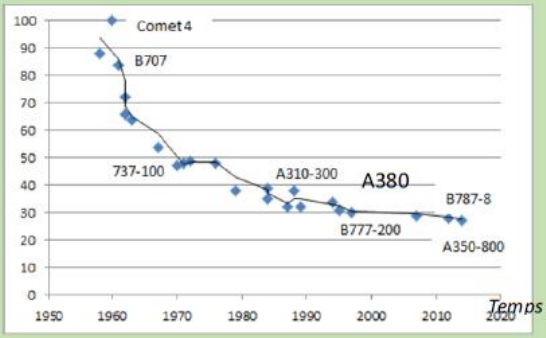


Figure 1 : Évolution de la consommation de carburant selon les appareils [13]

Voici quelques-unes des dernières innovations sur les avions civils et militaires :

Civil

- ✓ Grâce à l'engagement d'Airbus via le projet **PAMELA** (*Process for Advanced Management of End-of-Life of Aircraft*), le recyclage d'un avion civil atteint 85 à 90% de sa masse, ce qui représente 5 à 10 Millions d'euros de matière recyclée.

Civil

- ✓ Les extrémités de voilures équipées de *sharklets* chez Airbus et *raked wingtip* chez Boeing de permettent de diminuer respectivement de 4% et 5.5% les émissions de CO_2 d'un avion en croisière.

Civil
- ✓ L'A320 Neo (New Engine Option), remotorisation de l'A320, améliore lui de 15% ses rejets de CO_2 !

Civil Militaire
- ✓ La qualité de travail dans la fabrication des avions offre une grande longévité; ainsi après 40 ans pour le domaine civil et 15 à 50 ans pour le militaire, les aéronefs sont toujours capables de voler en toute sécurité.

Civil Militaire
- ✓ On voit de nos jours une utilisation massive de matériaux composites pour réduire le poids à vide des avions.

Les lois, institutions et projets

Les lois, institutions et projets qui ont conditionné les avancées de l'industrie sont nombreux.

Dès 1996, le secteur aéronautique avait prouvé son engagement envers l'environnement en suivant massivement la norme ISO 14001. En effet même si le transport aérien a été exclu des consignes du protocole de Kyoto en 1997, la plupart des industries ont cherché à se faire certifier par cette norme qui témoigne de leur qualité et performances accrues en termes de dépense énergétique.

En 2004 le lancement du programme PAMELA a permis d'anticiper le démantèlement de 12000 avions. Ce programme a été parmi les premiers à communiquer davantage sur les bénéfices environnementaux qu'économiques, bien que ces derniers ne soit pas négligeables.

Depuis, en 2008 s'est organisé le programme Clean Sky, puis Clean Sky 2 à partir de 2014, impliquant de nombreux acteurs comme Dassault, Airbus, Snecma… De même, Le Conseil pour la Recherche Aéronautique Civile (CORAC) rassemble CNRS, CEA, ONERA, des universités, des industriels, des aéroports, des compagnies, etc. pour atteindre les objectifs ACARE (*Advisory Council for Aeronautical Research in Europe*) à l'horizon 2020 : -50% d'émissions de CO_2,-80% de NO_x, -50% de bruit et des avancées significatives sur les procédés de fabrication, de construction et de gestion des déchets.

Aujourd'hui c'est la réglementation REACh (*Registration, Evaluation, Autorisation of Chemical products*) qui est sous les feux des projecteurs : les industriels doivent s'y conformer absolument.

Les points faibles aujourd'hui

- ✓ Les produits chimiques, très efficaces et rapides à appliquer, sont malheureusement d'une grande nocivité pour les compagnons et notre environnement. Il y a aujourd'hui 96% des produits chimiques dont les effets sur le corps humain par exemple restent méconnus et la tendance sera sans aucun doute d'interdire de plus en plus de produits chimiques, une fois leur nocivité démontrée.
- ✓ L'architecture des avions d'aujourd'hui, qu'ils soient militaires ou civils, est restée la même depuis quelques décennies. Ainsi, malgré la grande amélioration de leurs performances, l'architecture actuelle atteint son apogée et de nouvelles idées sont à l'étude, comme nous le détaillerons dans les articles suivants.
- ✓ La maintenance (trop) préventive contribue certes à la sécurité quasi inégalée des déplacements en avion mais aussi à augmenter les pollutions, par exemple avec le remplacement d'huile moteur à chaque visite.
- ✓ Les routes et trajectoires ne sont pas encore parfaitement adaptées pour réduire le bruit aux abords des habitations, ou pour réduire les temps de vol.
- ✓ La responsabilité de l'avion en fin de vie revient à la charge de la dernière compagnie exploitante, ce qui défausse les compagnies revendeuses de s'occuper de la fin de vie de leurs appareils.

Les points à étudier

Il est à présent indispensable de mieux connaitre les mécanismes

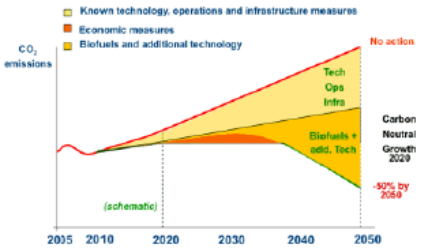


Figure 2 : Les objectifs Gaz à Effet de Serre du secteur aéronautique **[2]**

qui impactent directement l'environnement : par exemple, quelles sont les phases de vol qui consomment le plus ? A quel point est-il pertinent de se focaliser sur la diminution de la consommation au roulage si on considère que la phase de vol est la plus impactante du point de vue environnemental ? L'incapacité de quantifier tous ces effets de façon exhaustive peut s'avérer très problématique à moyen terme. Dans la mesure où l'industrie aéronautique se transforme, il parait donc nécessaire de chercher une connaissance parfaite sur tous les facteurs possiblement nocifs pouvant entraver cette transformation.

Alors, quels sont les leviers possibles dans une approche intégrée à la R&D ?

Architecture et matériaux

L'immobilisme de l'architecture actuelle peut s'expliquer par trois types de facteurs : cette architecture facilite les processus industriels de construction, a été favorisée par l'absence de contraintes extérieures (prix modéré des carburants, pas de règlementation sur la pollution) et repose sur un duopole de construction qui n'encourage pas les innovations de rupture. Ceci n'exclut pas que, sur quelques détails, l'architecture des avions soit perfectionnée pour augmenter leur portance et diminuer leur traînée (modification des bords d'ailes, forme des empennages, etc.).

Gestion du trafic aérien

Le potentiel d'amélioration des phases terminales est énorme, on peut le voir sur le diagramme de répartition des émissions de CO_2 en vol. Par les technologies de descente continue ou grâce à des systèmes réduisant le temps d'attente à l'approche, les avions civils pourraient économiser jusqu'à 20% de leur consommation en carburant. La France, l'Allemagne, la Suisse et le Benelux tentent également de constituer un « ciel unique européen » pour défragmenter l'espace aérien Européen : cette rationalisation sera importante tant en termes économiques qu'environnementaux.

Production et cycle de vie

L'écoconception est à présent bien intégrée dans le secteur civil et militaire, bien que pour les chasseurs, les performances priment toujours, comme l'attestent nos échanges avec des représentants du secteur (cf annexe 1). Le recyclage devra, en revanche, s'adapter notamment pour les matériaux composites qui perdent leurs propriétés à la chaleur. La maintenance deviendra également plus pertinente et ce grâce une meilleure connaissance sur la vie d'un aéronef (technologie de mesure en continu par fibre optique, tests non destructifs…).Ce sont finalement les procédés de fabrication qui pourront être améliorés pour limiter les stocks, les déchets ou les nuisances de toutes sortes.

Les moteurs et leur intégration

Open rotor de Rolls Royce

Plusieurs stratégies sont adoptées par quatre grands motoristes. Pratt & Whitney a, par exemple, choisi la simplicité en agrandissant l'aube de soufflante de manière à atteindre des taux de dilution proche de 12. Ceci est rendu possible par l'allègement et la résistance élevée des matériaux via utilisation de fibres de carbone tissées en 3D. De plus le « Geared Turbofan » permet de simplifier l'architecture du moteur. Pour Snecma le choix s'est porté sur l'utilisation de composites à matrice céramique, sur les aubes et carter avec une amélioration de la cambre de combustion. Rolls-Royce et Snecma (avec l'ONERA) travaillent également sur les moteurs *Open Rotor*, qui devraient apparaitre d'ici 2020-2030. Une innovation qui fait partie intégrante des projets CORAC mentionnés plus haut dont les limites sont principalement liées les nuisances sonores.

Les opérations aéroportuaires

Vue d'artiste : double passerelle d'aéroport

Il est certain que les appareils conçus pour le vol en croisière à haute altitude voient leurs performances au sol dégradées. Lors d'un déplacement en autonomie un avion consomme jusqu'à 5% de son carburant, ainsi des solutions de « green taxiing » sont progressivement intégrées comme le taxi-way robot d'Airbus : un petit robot électrique s'occupant des phases de roulage de l'avion au sol, et permettant d'économiser du temps de vie aux réacteurs et du carburant qui sont alors éteints lors du roulage. De plus l'avion peut se déplacer seul vers l'arrière facilitant ainsi la circulation à bien des égards.

Les appareils pourraient aussi supprimer partiellement leurs auxiliaires de puissance en se connectant sur des infrastructures électriques généralisées, ou réduire leur temps de roulage grâce à une meilleure coordination et un système informatique optimisé. Enfin, ce seront les bâtiments aéroportuaires qui pourraient se montrer encore plus respectueux de l'environnement, d'autant plus que ces bâtiments font l'interface avec les usagers, il est donc important de les accueillir dans des terminaux propres, écologiques et fonctionnels.

Les nouvelles énergies pour la propulsion

Pour les quelques projets d'aéronefs solaires comme Solar Impulse, il faut bien réaliser qu'il s'agit de prototypes aux dimensions gigantesques par rapport à leur charge utile, ou pas assez puissants pour le transport de personnes : ils ne pourront donc être industrialisés tant que de grands progrès ne soient faits en électronique de puissance. La propulsion à l'énergie électrique n'est donc pas une solution suffisamment mature pour imaginer un gros porteur s'envoler sur des batteries avec une autonomie satisfaisante avant 2050.

Par contre, l'utilisation de biocarburants peut réduire de 50 à 90 % les émissions de gaz à effet de serre par rapport au kérosène actuel. Cependant les huiles végétales possèdent des propriétés différentes telles que la température de solidification élevée. Par comparaison au kérosène, il s'avère qu'en croisière, lorsque la température chute à -60°C, les huiles, bien plus visqueuses, sont difficiles à exploiter. N'oublions pas non plus que les solutions faisant appel à la culture de denrées alimentaires (blé ou betterave) ne sont pas envisageables au vu des situations de famines dans le monde. Enfin, l'impact d'une culture de masse sur les forêts, sur la faune déjà fragile ou sur le remplacement de terrains cultivés à des fins nutritives est contre-moral et les traitements massifs d'engrais peuvent impacter grandement l'environnement local, régional et mondial.

Cependant, il existe des carburants à base d'algues aux propriétés intéressantes. En effet, ces algues possèdent un potentiel 50 fois plus important en huile que les autres végétaux utilisés, ce qui nourrit des espoirs pour le long terme, car la culture sous-marine est envisageable. Toutefois, les besoins de rentabilité ne sont pas encore atteint ce qui impose un frein non négligeable à cette éventuelle solution.

En résumé

La réduction des émissions de gaz imposée dans un premier temps par l'ACARE devrait être atteinte pour 2020 par la somme de toutes les optimisations déjà réalisées. C'est une véritable course technologique qui rassemble les industriels autour d'un intérêt commun. Toutes les sonnettes d'alarmes sont tirées et des budgets sont investis par les grandes industries de l'aéronautique comme du pétrole pour lancer la transition énergétique. Entre problèmes éthiques et urgence de changement, l'Homme doit faire face à un des plus grands défis du siècle : le retour à une énergie propre.

PARIS 2015

2030 : Optimum atteint, ou révolution d'un modèle assis depuis des décennies ?

« Quel est le facteur principal lors du choix d'intégration d'une technologie verte ? »

Cette question a été posée à quelques personnes travaillant dans le domaine de l'environnement en aéronautique. Mais il est facile de deviner la réponse : les économies… financières ! Certes, l'écologie rejoint bien souvent l'économie (par exemple la diminution de consommation de carburant aide l'écologie et l'économie), mais ce n'est néanmoins pas la raison principale pour « faire de l'écologie » ; il ne faut pas non plus oublier les réglementations, également citées comme raison. Selon les intérêts, une technologie dite « verte » pourra, ou non, s'appliquer car la complexité des données qui entrent en jeu peuvent être de l'ordre de la survie économique de l'industrie, alors faire un choix sur le seul critère de l'écologie, peut mettre en danger une entreprise.

Un produit en déclin ?

La consommation des appareils est en décroissance depuis 40 ans : continuera-t-elle sur cette pente ? Bien que les prévisions du GIFAS prédisent que des avancées technologiques conséquentes, il ne faut pas oublier que tout modèle a un optimum, et il semble que le modèle architectural des avions tel que nous le connaissons (deux ailes, une dérive simple, etc.) atteint son apogée.

Prenons l'exemple du produit «avion actuel » dans le domaine civil, et regardons son évolution historique et son cycle de vie produit :

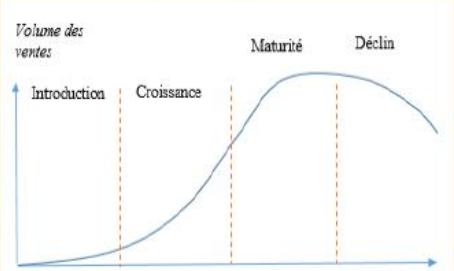


Figure 3 : Cycle de vie type d'un produit (d'après le modèle de R. Vernon)

✓Avant les années 1960-1970 : **phase de lancement**

➔ Après les débuts de l'aviation, les industries commencent à poser les bases des avions et du transport aérien que l'on connaît aujourd'hui.

✓Des années 1970 aux années 2000, plus tard pour les pays émergents : **phase de croissance**

➔ Le transport aérien se démocratise, le trafic aérien explose, Airbus naît et se lance dans les gros porteurs.

✓ Depuis les années 2000 : **phase de maturité**

➔ Maintenant que les produits phares sont connus et le modèle d'un « avion commercial » assis, les compagnies et constructeurs défendent leurs parts de marché, réindustrialisent leurs produits et cherchent à assurer leurs profits

A quand le déclin de l'avion tel que nous le connaissons? Si on croit les projections ci-contre, il ne faudra pas attendre si longtemps que cela. Les avions sortant entre les années 2020 et 2030 seront probablement les produits les plus complexes, avancés, que nous pourrons faire en matière de performances aéronautiques, et cela inclue également les performances environnementales ! Par conséquent, en 2030, il faudra préparer une révolution aérienne.

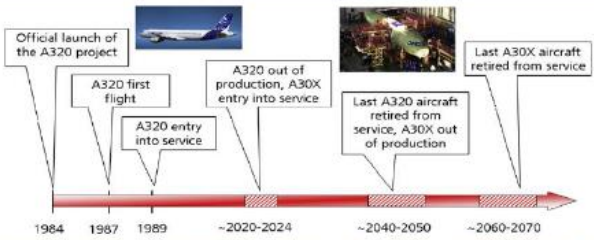


Figure 4 : Cycle de vie produit prévu par Airbus pour sa famille d'A320 et un potentiel remplaçant noté A30X : la durée de vie du produit A320 serait de 55-65 ans ! L'A30X sortirait en 2020-2024, et son remplaçant devrait être dans les laboratoires pour prendre sa suite vers 2040... Mais quel structure aurait ce remplaçant ? [5]

L'environnement en aéronautique, ou la pression d'un modèle économique bien en place

Ainsi, c'est bien le modèle économique de l'industrie et non pas uniquement les avancées scientifiques qui détermineront si les industriels pourront continuer à diminuer leur impact environnemental. Quelles sont donc les spécificités de ce marché qui influent sur les questions environnementales ? Pour construire les cartes d'identité de ces marchés, nous nous sommes inspirés du « Business Model Canvas » développé par A. Osterwalder.

L'industrie aéronautique dans son ensemble

Spécificités du marché		Impact sur les questions environnementales
Le produit	Durée de vie très longue	Les technologies durables doivent avoir la même longévité et s'appliquer à des « vieux » produits
	Haute technologie, de pointe et de précision	Difficulté d'application des technologies durables qui doivent être au même niveau !
	Impératif de sécurité des produits et réglementations parfois contraignantes	Les technologies durables subissent les mêmes contraintes, cela allonge d'autant leur mise en œuvre
Relations partenaires	Risques importants à porter pour les programmes, ils sont partagés entre les différents acteurs de la chaîne de valeur	Les risques des programmes visant à réduire l'impact environnemental sont partagés de la même façon, il faut unir les compétences

	Une structure hiérarchisée de la chaîne de valeur : constructeurs, équipementiers, motoristes, etc.	Tous les acteurs doivent s'impliquer dans les recherches environnementales !
Clients	Une recherche constante de performances aéronautiques qui sont très recherchées par les clients	Les technologies durables ne doivent pas diminuer ces performances
Ressources	Raréfaction des ressources planétaires : pétrole, etc.	Besoin de trouver de nouvelles sources, ou d'économiser les ressources actuelles

La défense

Spécificités du marché		**Impact sur les questions environnementales**
Marché	Marché de niche	Difficultés de trouver budgets et technologies adaptées à ce marché
	Des programmes avec une durée de vie plus longue, moins de nouveaux programmes que dans le civil	
Relations partenaires	Rôle des Etats, à la fois clients et régulateurs	Les réglementations ne sont pas oubliées, bien au contraire !

Spécificités du marché		Impact sur les questions environnementales
Marché	Démocratisation du transport aérien : une guerre des coûts a été entamée	Les compagnies aériennes veulent diminuer leur postes de coûts le plus important : la consommation
Relations partenaires	Des réglementations non homogènes entre pays, des avions volant	Veille réglementaire complexe

Pour résumer, la question environnementale dans l'industrie aéronautique doit faire face à plusieurs problématiques pour les années à venir :

- ✓ Un système réglementaire complexe, varié, et plutôt amené à se renforcer qu'à s'alléger
- ✓ Une raréfaction des ressources primordiales au secteur, le pétrole en est l'exemple le plus probant
- ✓ Une guerre des coûts couplée à une recherche toujours plus avancée de performances : cela se traduit en besoins de gains de masse et de diminution de la consommation
- ✓ Une multiplicité d'acteurs avec des besoins différents

Dans tous les cas, il ne faut pas oublier que l'industrie aéronautique est constituée d'entreprises ayant nécessité de profit : c'est la demande du client qui tirera les ficelles des avions du futurs, et donc de l'économie aéronautique tout entière.

2030 : une année charnière ?

Plusieurs éléments semblent donc se profiler pour 2030 dans l'industrie aéronautique.

Tout d'abord, l'optimisation du modèle d'avion actuel sera arrivée proche de son maximum. Toutes les innovations incrémentales dont certaines ont été décrites dans l'article précédent et les « *low risks* », comme les mentions « Neo » d'Airbus, auront été mises en place.

Certes, des innovations de rupture sont déjà dans les laboratoires : on peut citer l'avion électrique bien sûr, solaire, l'aile volante, etc. Mais, de l'avis du secteur, ces technologies ne seront pas prêtes pour 2030 mais plutôt 2050 ! A encore plus long terme, on peut même penser à des concepts toujours plus révolutionnaires : des laboratoires américains comme NextGen ou ASDL à Atlanta, ont pensé organiser des vols regroupés d'avion « en V », comme les oies. Cette structure de vol permet de faire profiter aux avions à l'intérieur de la pointe du V du sillage de l'avion en pointe : gains de consommation à la clé ! Bee Plane, l'avion à fuselage détachable, actuellement à 2 sur l'échelle TRL (*Technology Readiness Level*), permettrait aussi de diminuer la consommation de carburant.

La voilure laminaire : un exemple d'innovation durable qui risque de rebuter les clients… et donc de repousser son intégration

Une voilure laminaire : le rêve de tout aérodynamicien. Diminution de traînée, donc diminution de consommation, gain de performances… Oui mais voilà, il faudrait alors oublier volets et becs sustentateurs, et ça, cela risque de faire peur aux clients ! Qui dit plus de dispositifs hypersustentateurs dit longueur d'atterrissage plus grande, et dans un monde globalisé où les clients souhaitent atterrir à Taïwan avec de gros porteurs ou sur la très courte piste de la City (Londres) pour les business jets, cela risque de poser problème.

Ici donc, ce n'est même pas l'économie mais bien le client qui freine l'innovation environnementale.

Mais, pour 2030, nous n'en serons pas encore là. Les acteurs du secteur devront probablement changer leurs stratégies de recherches environnementales pour s'orienter vers des technologies extrêmement innovantes : la raréfaction des ressources est bien présente, et, même si d'après les prédictions, il y aura toujours de l'or noir en 2030, la situation sera encore néanmoins plus oppressante !

De plus, la guerre des coûts qui fait rage actuellement chez les compagnies aériennes ne semble pas prête de s'arrêter. Ainsi, les industriels seront toujours à la recherche de gains de masse, de réductions de consommation, etc. D'une façon différente, peut-être, mais ces deux éléments sont et resteront le nerf de la guerre !

Et pour la suite…

Tous les acteurs devront participer, et ce encore plus dans un monde globalisé. Nous nous pencherons, dans l'article suivant, sur les relations entre différents acteurs et sur les structures de ceux-ci en 2030 (financements, consortiums,

Pour autant, l'environnement deviendra-t-il réellement une volonté à part entière des industriels, et non pas une façon de consommer moins ou de respecter des contraintes ? Cela est peu probable, mais après tout, l'important est peut-être que les avions soient propres, et non la raison pour laquelle ils le sont…

Quels acteurs de la chaîne de valeur pour 2030 ?

Quels acteurs seront les mieux placés pour sortir leur épingle du jeu ? La structure de la chaîne de valeur aura-t-elle changé en 2030 ?
La chaîne de valeur actuelle de l'aéronautique est présentée en annexe 2. Notons quelques points qui nous intéresserons par la suite :

Fournisseurs
- ✓ Il y a une multitude de sous-traitants intervenant pendant la fabrication.

Constructeurs
- ✓ Côté constructeurs, le duopole Airbus-Boeing est pour l'instant bien installé depuis plusieurs années.
- ✓ Quelques projets collaboratifs ont existé entre constructeurs, mais on y retrouve toujours une culture du secret forte.

Transporteurs
- ✓ La dimension "nationale" est encore très présente dans le secteur via non seulement les compagnies aériennes nationales phares mais aussi les constructeurs : Boeing est largement majoritaire aux USA par exemple.

MRO
- ✓ 80% du marché de la maintenance est constitué de PME. Toutefois, quelques grosses compagnies comme Air France Industries ou Delta Airlines Techops sont dans les premiers mondiaux.

Fin de vie
- ✓ La fin de vie et le recyclage des appareils n'étaient pas ou peu pris en compte jusqu'à très récemment du fait notamment d'un certain « flou » réglementaire ; le principe « pollueur-payeur » pouvait être appliqué aux compagnies aériennes, mais celui de la Responsabilité Elargie des Producteurs impliquait également les constructeurs… En Europe on peut noter l'arrivée de Tarmac Aerosave, entreprise proposant un procédé innovant de récupération d'appareils en fin de vie depuis 2009, dont les actionnaires principaux sont Airbus Group, Sita (Suez Environnement) et Snecma.

2030 : de nouveaux acteurs et partenariats pour la question environnementale dans le secteur aéronautique

Les constructeurs

Nous avons mentionné un certain besoin d'innovations de ruptures qui arrivera en 2030. Celles-ci devront être envisagées par les industriels. Cependant, s'y lanceront-ils ? Les acteurs majeurs du secteur sont tiraillés entre les risques programme (cf partie 2) et leur besoin d'innover. On peut alors se demander si des petites start-ups comme Bee Plane, qui envisage un avion futuriste eco-friendly, pourraient devenir des acteurs incontournables en 2030 : si ces start-ups veulent s'imposer sur le marché, elles devront investir dans des concepts nouveaux.

Néanmoins, s'il fallait parier, ce serait plus vers les entreprises réussissant à collaborer pour innover que notre choix se porterait ! Ces projets sont de plus en plus fréquents et font des merveilles quand il s'agit de devenir plus verts, il suffit de voir les excellents résultats de la Joint Technology Initiative Clean Sky. Les constructeurs ont en effet pensé au début des années 2000 que, les budgets R&D n'allant pas en s'agrandissant, il valait mieux être plusieurs pour innover intelligemment ! De fait, on retrouve là ce qui pousse beaucoup d'industriels à « faire de l'environnement » : les contraintes réglementaires, qui sont les mêmes pour tout le monde !

Si chacun travaillait seul à mettre au point un nouveau procédé pour éliminer les produits nocifs des pièces avions, comme le chrome 6 qui devra être éradiqué d'ici 2017, tout le monde aboutirait à plus ou moins la même solution (qui n'a pas grande valeur ajoutée), donc multiplication « inutile » des coûts, mais en plus les fournisseurs seraient étouffés, devant mettre au point des technologies différentes pour tous leurs clients !

Les partenariats seront également plus internationaux en 2030. Nul besoin de prouver que le monde sera de plus en plus connecté au fur et à mesure des années, et les fleurons nationaux du secteur aéronautique devront composer avec. Le duopole mentionné ci-dessus ne le restera pas longtemps face à la montée des acteurs émergents comme la Chine avec Comac ou le Brésil avec Embraer ; ce sujet est brûlant, et était d'ailleurs le sujet du concours USAIRE 2014 ! Ainsi, les décisions chinoises par exemple devraient beaucoup plus peser dans le secteur : la Chine prendra-t-elle un chemin pour l'environnement, ou plutôt celui des avions à bas coûts pollueurs ? La concurrence, dans ce dernier cas, serait rude, et pousserait pour les autres constructeurs à oublier les gains et recherches environnementaux pour favoriser ceux financiers.
On peut penser également que les projets collaboratifs, pour l'instant continentaux, seront inter-continentaux. Mais surtout, nous devrons trouver une solution ou profiter

des différences actuelles de régulations : certains traitements de surface ne peuvent pas être réalisés dans l'Espace Economique Européen, mais on peut par contre importer des pièces traitées et les monter sur avion en Europe… Si ces différentes régulations subsistent à l'avenir, cela aidera probablement à internationaliser la fabrication aéronautique…

Aéroports, MRO, fin de vie

Les autres secteurs, notamment les aéroports, la fin de vie et la MRO devraient eux-aussi voir des changements d'ici 2030 du fait de l'intensification des problématiques environnementales. Si on regarde les investissements effectués par les différentes parties de la chaîne de valeur ci-dessous, on s'aperçoit que les compagnies aériennes et les aéroports en font la majeure partie !

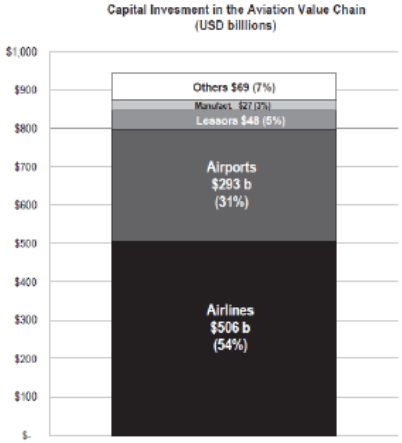


Figure 5 : Investissement (capitaux) dans la chaîne de valeur du secteur aéronautique [6]

Avec les prévisions de recyclage en cours, il est très probable que les entreprises s'occupant de la fin de vie seront bien plus nombreuses en 2030 que maintenant. Si Tarmac Aerosave espère recycler une trentaine d'avions par an, et que ses quelques concurrents en font autant, cela ne suffira pas pour les 6000 avions arrivant en fin de vie rien que d'ici 2023 !

Le secteur de la MRO sera probablement bien plus intégré côté constructeurs qu'il ne l'est actuellement. Cette intégration permettra aux constructeurs de gérer le produit dans son ensemble, et les gains verts devraient suivre : par exemple, les installations des constructeurs seront plus rentabilisées si elles accueillent également les activités de maintenance.

Enfin, les aéroports devraient voir de nouveaux acteurs arriver pour aider à lutter contre l'impact environnemental. Nous avons parlé de systèmes de gestion du trafic destinés à limiter le

temps que les avions passent en paliers au-dessus des aéroports : les fournisseurs de ces systèmes feront leur apparition dans le panorama aéronautique.

Dans un autre registre, un acteur souvent sous-estimé voir non considéré devrait prendre de l'importance dans les années à venir : le grand public ! Pour l'instant, ce n'est pas lui qui demande (de façon directe et impactante du moins) des appareils plus verts. Mais la prise de conscience du public a bien eu lieu, et qui n'a pas déjà choisi un vol plutôt que l'autre parce que celui-ci se faisait sur un avion plus « impressionnant » ? C'est déjà le cas pour l'A380 qui bénéficie d'une image silencieuse ou de l'A350 qui a lui une image « verte ». N'oublions pas également les riverains des aéroports, qui ont déjà prouvé leur force (exemple de Notre-Dame des Landes), et à l'heure où le consommateur et l'opinion publique sont rois, il est sûr que les infrastructures aéroportuaires auront à composer avec eux !

L'Etat et les institutions : carotte ou bâton ?

Un groupe d'acteurs nécessaires à de réels changements d'ici 2030 sont les institutions et états, mais ce rôle est à double tranchant. Leur côté négatif devrait s'intensifier dans les années à venir, et ce pour l'environnement !

D'un côté, ceux-ci aident les recherches de manière financière, en participant aux financements et aux risques des programmes, civils comme militaires. Du côté de l'impact environnemental, la Commission Européenne s'investit dans plusieurs Partenariats Publics Privés comme Clean Sky par exemple, en donnant certes de l'argent mais aussi un suivi des objectifs. La volonté des états de réduire l'impact environnemental global mondial devrait par conséquent aider les industriels de l'aéronautique par ce biais-là.

Mais d'un autre côté, l'Etat a bien sûr un rôle de réglementation qu'il ne faut pas négliger : sans celles-ci, on a vu que les industriels ne feraient peut-être pas autant d'efforts… Par conséquent, l'état se doit d'être punitif pour faire avancer les choses. Il faut espérer que la raréfaction des ressources diminuera ce phénomène de « sans bâton, pas d'innovations ». L'état serait ainsi plutôt fédérateur et moteur dans le traitement des problématiques environnementales.

Conclusion : L'écologie, un moteur de croissance (aussi) pour l'aéronautique ?

L'impact environnemental des avions est donc, depuis quelques années, en bonne voie : les objectifs ACARE sont proches d'être atteints, beaucoup de nouvelles technologies vertes ont été intégrées aux avions et beaucoup d'autres sont à l'étude *(cf article 1, Etat des lieux)*. Les industriels considèrent six thématiques principales : l'architecture et les matériaux, la gestion du trafic aérien, les moteurs et leur intégration, les opérations aéroportuaires, et de nouvelles énergies de propulsion. Techniquement donc, il semble que nous soyons bien partis.

Mais, au-delà de la technique et des sciences, il faut se demander si les acteurs du secteur aéronautique ont un intérêt à investir dans ces technologies durables. Il semblerait en effet que la motivation principale soit l'aspect financier ou réglementaire ; ainsi, si l' « écolonomie », comme l'appelle M. B (*cf annexe 1*), disparaît, ou si les lois se font plus souples, il n'est pas sûr que l'écologie reste un sujet de préoccupation dans le secteur…

Pour 2030, un choix semble se profiler :

- ✓ Soit les industriels continueront à voter pour l'environnement, mais dans ce cas il faudra probablement réinventer le modèle de l'avion qui sera arrivé à maturité dans son cycle de vie, et dont le modèle aura été parfaitement optimisé. Les industriels devront alors passer outre les actionnaires et leurs besoins de rentabilité à court et moyen termes (aux alentours de 5 ans pour le secteur), pour se positionner et définir l'avion du futur.
- ✓ Soit l'environnement sera « passé » de mode et on se dirigera vers des solutions avant tout économiques ! Mais ce scénario paraît moins probable, tant les gains en masse et en carburant sont recherchés par le domaine : une solution à bas coûts serait sûrement peu économe en kérosène et donc peu intéressante.

Les acteurs de demain définiront eux-aussi la structure du modèle de l'industrie aéronautique de 2030 et sa relation à l'environnement. Les pays émergents auront une voix prépondérante, il est probable que le grand public sera plus présent et considéré, et l'Etat sera toujours dans la course !

Pour beaucoup de gouvernements, l'écologie est « moteur de croissance » (*F. Hollande*), et la COP21 à venir cet hiver 2015 doit fédérer les nations et les hommes autour de cette cause. Il semblerait que pour l'instant, l'aéronautique s'inscrive dans cette démarche, et que le secteur ait de l'avenir avec l'environnement.

Nous tenons à remercier Mmes A, D et E, et Messieurs B, C et F, qui ont répondu à nos questions nombreuses et variées sur le sujet pour construire ce dossier. Des extraits de leurs interviews (réalisés en juillet et août 2015) sont disponibles en annexe 1. Ils ont aidé notre réflexion, et surtout, nous ont permis d'avoir des discussions passionnantes ! L'environnement et l'aéronautique semblent assurément deux sujets fédérateurs.

Bibliographie

Rapports

[1] *Aéronautique, espace et environnement - L'industrie aéronautique et spatiale française toujours plus mobilisée pour l'environnement, rapport publié par le GIFAS, téléchargeable sur :*
https://www.gifas.asso.fr/.../BROCHURE_ENVIRONNEMENT_FR.pdf

[2] *Les perspectives d'évolution de l'aviation civile à l'horizon 2040 : préserver l'avance de la France et de l'Europe*, R. Courteau (sénateur), publié par l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, Dossier N°658 au Sénat, N°1133 à l'Assemblée Nationale

Publications

[3] *Droit de l'air, cadre national, L. Prat, publication de Techniques de l'ingénieur, 10 juillet 2014*

[4] *Environmental, economic and social impact of aviation biofuel production in Brazil*, P. A. Cremonez et autres, New Biotechnology , volume 32, n°2, mars 2015

[5] *Next generation single-aisle aircraft : Requirements and technological solutions*, J. Szodruch, et autres, Journal of Air Transport Management, 2011

[6] *The aviation value chain: Economic returns and policy issues,* M. W. Tretheway et K. Markhvida, Journal of Air Transport Management, 2014

Sites internet :

Consultés le 26 juin 2015 :
[7] http://www.onera.fr/fr/actualites/en-aeronautique-la-recherche-exploratoire-traque-les-nox

[8] http://recyclage.comprendrechoisir.com/astuce/voir/300299/recyclage-des-avions

[9] http://www.aeronautics.nasa.gov/programs-aosp.htm

[10] http://www.faa.gov/nextgen/experience/

[11] http://www.aertecsolutions.com/2014/09/15/le-paradoxe-de-jevons-en-aviation/?lang=fr

Livres

[12] *Révolution aéronautique, le défi de l'environnement*, Y. Galland avec G. Roy, Pearson, 2008

Annexe 1 - Interviews

Nous avons interrogé six personnes travaillant dans des entreprises aéronautiques. Pour des raisons de confidentialité et de sécurité, nous les appellerons Mesdames A, D et E, et Messieurs B, C et F. Pour les mêmes raisons, nous ne dévoilerons pas les noms des entreprises de tous les interviewés.

Mme A et Mme E travaillent au sein d'un département HSE (Hygiène, Sécurité et Environnement), Mme A étant sur un site de fabrication aéronautique ; M. B réalise (notamment) des analyses de cycle de vie d'innovations vertes ; M. C et Mme D travaillent sur des technologies vertes dans le secteur des Matériaux et Procédés au sein d'un projet collaboratif. M. F travaille chez Airbus Group au sein de la direction Strategy and Merger Acquisitions.

L'objectif de ces interviews était de connaître la place accordée à l'environnement dans l'industrie aéronautique (côté R&D, mais aussi production, grâce à Mme A), les différences entre le secteur militaire et celui civil, et enfin les avancées technologiques/changements de mentalités ou de stratégies que l'on pourrait voir en 2030.

Les interviews ont été réalisées séparément, mais nous avons réuni les passages les plus intéressants pour nos lecteurs, en les ré-organisant pour en faciliter la lecture.

***

Note : ce compte-rendu d'interview est composé de notes prises pendant les rendez-vous, ce ne sont pas les propos mots pour mots des personnes interrogées. Néanmoins celles-ci les ont relues pour validation, et pour vérifier que nous n'avions pas déformé leurs propos. Ces personnes ont gentiment accepté de nous répondre, en tant que personnes travaillant sur des sujets environnementaux dans des industries aéronautiques, et non en tant que porte-parole de leurs entreprises. Elles nous ont donné leurs avis sur les questions que nous leur avons posées et sur notre sujet.
Ce compte-rendu a été revu par le service de sécurité des entreprises.

***

Thème n°1 : Pourquoi « fait-on » de l'environnement actuellement ?

Quand il faut mettre en œuvre de nouveaux processus ou technologies plus propres, quel est le facteur décisionnel ? Environnemental, financier ou autre ?

Mme A : Les nouveaux processus et technologies mis en œuvre ont tout d'abord un impact sur la santé, la sécurité et l'environnement. L'impact financier est présent pour certains points, par exemple le système d'économies d'énergie mis en place dans l'usine a réellement permis de faire des économies financières. De même pour la gestion des déchets : plus on a de rejets, plus il y a de taxes ; au contraire, moins on a de rejets de déchets, plus on fait des économies et plus on les valorise, plus on reçoit de l'argent ! Le calcul se fait assez vite.
Pour le facteur décisionnel, effectivement, si une technologie propre est trop chère, elle ne sera pas lancée.

M. F : Dans mon activité en elle-même, au quotidien, l'environnement est surtout considéré en tant que sujet d'intérêt principalement pour améliorer l'efficacité énergétique des produits du groupe et offrir ainsi plus de performances à nos clients tout en limitant l'empreinte environnementale. La question de l'image des technologies vertes, pour le public et les clients, est très importante évidemment. Mais au-delà de l'image, les compagnies aériennes ont des marges financières assez serrées, donc si on leur propose une économie de fuel au décollage (par exemple avec le robot-taxiway), et une réduction de pollution et de bruit sur les aéroports, cela peut les intéresser !
Il faut néanmoins souligner que si la construction d'avion n'est pas en soi une activité très polluante, l'utilisation opérationnelle des avions contribue aujourd'hui à environ 2% des émissions de CO_2 avec une forte croissance du trafic aérien prévue dans les années à venir. Dans le domaine des satellites, les questions environnementales concernent principalement les débris spatiaux, les carburants/ergols « propres ». La question environnementale est plus développée chez Airbus Aircrafts par exemple, notamment avec le développement d'un petit avion électrique (E-Fan) qui a récemment traversé la Manche ou encore les biocarburants. Mais a priori un avion électrique commercial emportant de nombreux passagers ne sera pas mûr pour 2030 : il ne sera pas assez puissant.

A votre avis, est-ce principalement l'existence de ces différentes réglementations qui fait avancer les

avionneurs vers des appareils plus propres ?

Mme D : Il faudrait plutôt dire que s'il n'y avait pas de contraintes, cela irait moins vite. Ce qui est réellement important, ce sont les gains performances/les économies pour les clients, et ils ne sont pas toujours liés à des préoccupations purement environnementales. Après, si les clients se mettent à demander que leurs appareils aient un label « vert », comme cela peut être le cas pour d'autres secteurs comme l'automobile ou le ferroviaire, là l'écologie deviendra un but à part entière, pour répondre à la demande client.

Thème n°2 : Quels types d'acteurs peuvent avantager les recherches environnementales ?

Prenons l'exemple d'un projet comme Clean Sky ; comment se déroule la collaboration entre des entreprises concurrentes au sein d'une telle JTI ? « Etre ensemble pour mieux avancer », c'est là l'intérêt ?

Mme D : Tout d'abord, il faut noter que ce n'est pas la première fois qu'en aéronautique des entreprises du secteur collaborent sur un projet commun, cela s'est déjà vu avant les années 2000. Ensuite, tous les participants à cette JTI ont, à la base, les mêmes contraintes environnementales et sont soumis aux mêmes réglementations ! Travailler chacun dans son coin ne serait pas forcément pertinent. Par exemple, rien qu'en considérant les sous-traitants, si tous les constructeurs leur demandent des technologies différentes pour répondre à la même réglementation, cela va être compliqué pour le sous-traitant de tout gérer.
Par contre, certains thèmes étant compétitifs, on parle alors d'innovations de rupture, il est normal que les entreprises gardent alors le secret.

M. C : Les objectifs ACARE ont été publiés en 2004, et c'est à peu près à ce moment que les budgets alloués à la recherche et au développement dans l'industrie commençaient à baisser (ndlr : le projet Clean SKy pris en exemple a commencé en 2008). Il y avait en même temps une prise de conscience globale concernant l'environnement. Les acteurs du secteur se sont alors rendu compte qu'en étant ensemble, il était possible de maximiser les gains et d'avancer.

Pour vous, quel rôle joue la taille de l'entreprise et son statut dans l'innovation concernant l'environnement en aéronautique ?

Mme A : Du point de vue de la production et de la fabrication, la taille

de l'entreprise peut jouer dans le sens où plus elle a de moyens, plus les organismes lui demanderont d'investir pour mettre en place des procédés propres. Les plus petites structures sont elles aussi soumises aux réglementations, mais d'une part il est difficile de contrôler, et d'autre part, elles vont plutôt suivre les plus grosses compagnies, qui ont à la fois les connaissances et les moyens de faire de la recherche et du développement, dans la mise en place de nouvelles technologies.
Au niveau de la conception, cela est différent puisque les plus petites entreprises ou start-up ont besoin d'être innovantes et de se démarquer des entreprises bien établies sur le marché.

Thème n°3 : Des avions toujours plus verts en 2030 ? Sous quelles formes ?

Pensez-vous qu'on réussira à continuer à avoir des gains environnementaux ? N'atteindrons-nous pas à un moment un maximum d'optimisation des avions en termes d'impact environnemental ?

M. C : Effectivement, plus on s'améliore, plus les gains sont difficiles à obtenir. Pour donner un exemple, depuis 40 ans, il y a eu 70% d'améliorations en termes de consommation des moteurs par passager et par kilomètre. Mais on procède par petits pas : même si certaines innovations ne se voient pas pour le grand public, c'est le cas notamment du secteur des matériaux, elles sont là et aident à diminuer l'impact environnemental.

M. F : On fait ce qu'on appelle de l' « incremental innovation » : les Neo (pour New Engine Option), l'allègement de structure, etc., sont des innovations progressives. On ne change pas le modèle ou la structure de l'avion. La seule réelle rupture innovante actuellement est le turbofan (rotor ouvert) insuffisamment mature aujourd'hui.
Mais Airbus introduit également d'autres optimisations qui ne sont plus « incrémentales » et vont changer des choses : par exemple, une sorte de petit robot électrique sur le train pour diriger l'avion sur le taxiway, ce qui diminue la consommation de carburant et le bruit aux aéroports.

A votre avis, d'ici à 2030, sur quoi les constructeurs se focaliseront ? Quels seront les grands changements opérés en termes d'amélioration de l'impact environnemental ?

M. B : Les constructeurs d'aérostructures ont deux leviers majeurs pour diminuer les impacts

environnementaux potentiels de leurs aéronefs : la masse et les choix aérodynamiques (comme la diminution de la traînée par exemple). Nous pouvons constater que lors de la conception d'un avion, sa masse est un critère principal depuis longtemps, tout comme l'aérodynamique. L'utilisation des matériaux composites avec des performances spécifiques supérieures aux métalliques est donc le changement majeur observable ces dernières décennies. Je n'imagine qu'il y ait de changements majeurs d'ici les 30 prochaines années concernant l'aérostructure des avions d'affaire ou commerciaux.

Pour ce qui est des motoristes, il est possible d'imaginer un changement de carburant. Le kérosène utilisé actuellement pourrait se voir remplacé en partie par des carburants bio-sourcés (*ndlr : cf vo hebdomadaire Paris-Toulouse d'Air France : 10% de bio-carburant*). Néanmoins je n'imagine pas de changements radicaux d'ici à 2030 concernant la motorisation des avions d'affaires ou commerciaux.

Donc dans le futur, par exemple 2030, il n'y aurait pas de changement drastique du modèle de l'avion tel que nous le connaissons actuellement ?

M. B : Je ne pense pas qu'il y ait de changement majeur. Probablement parce que les constructeurs aéronautiques sont des entreprises évoluant dans une économie de marché. Les produits sont développés pour répondre aux attentes des clients : faibles coûts de maintenance, forte disponibilité, et surtout une faible consommation en carburant. Je n'imagine pas que ce modèle change dans les décennies à venir.

Par exemple pour le développement de la famille des Neo, cela a été fait à la demande des compagnies aériennes. Les A320 répondent bien à leurs demandes mais dans le but de diminuer les coûts ils ont demandé le développement d'une nouvelle motorisation moins consommatrice en carburant. On retrouve une approche « écolonomique », gains économiques et gains environnementaux simultanés. Ce qu'on peut s'imaginer comme modifications sont l'apparition d'ailes delta, d'appareils volant, de carburant contenant très peu de soufre…

On peut aussi se demander si les avions à propulsion électriques seront plus développés. Mais il n'est pas sûr qu'il y ait de progrès significatifs en aussi peu de temps sur les batteries. Quoique des projets de petites centrales nucléaires, de la taille d'un camion, voient le jour. Mais il resterait à certifier une centrale nucléaire volante et convaincre l'opinion publique….

M. C : Pour le grand public, sans doute pas. On verra éventuellement des choses comme une bi-dérive, à la mode en ce moment, ou un open rotor, mais cela nécessite tout de même du temps. On verra des optimisations de structure, des optimisations aérodynamiques, mais pas tellement plus à mon avis.
Il faut aussi penser qu'on a atteint un tel niveau de perfection pour prédire les comportements des formes d'avions actuelles, que faire voler quelque chose de totalement nouveau serait à mon avis très difficile. Envisageable, certes, mais plutôt pour 2050.

M. F : Dans 15 ans, l'aéronautique sera a priori à peu près sur les mêmes technologies. Pour certaines applications, des avions propres et des drones propres seront développés, mais sans doute pas encore à l'échelle commerciale. Par contre, les innovations incrémentales dont nous avons parlé plus haut, comme les sharklets, winglets, les avions Neo, etc., seront faits. Toutes ces petites améliorations additionnées sont utiles, mais ce ne sera pas une grosse révolution.

Thème n°4 : La place du militaire

Y a-t-il une différence de traitement dans les réglementations entre le secteur militaire et le secteur civil ? Et dans leur approche à l'environnement ?

Mme E : Pour les textes récents, ils s'appliquent de base et n'ont pas vraiment d'exceptions spécifiques au militaire. C'est le cas de la réglementation REACh par exemple. Si certains veulent avoir des dérogations, cela se fait au cas par cas, et même pays par pays : la France pourrait délivrer des exemptions aux industriels de défense pour avoir le droit de ne pas respecter un point de REACh, etc. Par contre, certains textes comme les réglementations ROHS (*ndlr : concernant les systèmes électriques et électroniques*) prévoient des dérogations pour le secteur militaire, de façon spécifique au début du document.
Il y a une grosse demande de la part de l'Etat de respecter les réglementations. De ce fait, le secteur militaire représenté par la DGA les respectent également, c'est donc là à mon avis plus une volonté de respecter les lois qu'autre chose. Il faut noter que le secteur est quand même très particulier, c'est un marché de niche ui répond aux demandes de clients étatiques, qui doivent d'ailleurs aussi effectuer la maintenance de leurs avions eux-mêmes, contrairement aux business-jets ou aux transporteurs qui

sous-traitent : un impact sur l'environnement de plus à considérer ! Les constructeurs d'avions civils, par le biais des compagnies aériennes, touchent au contraire de façon plus directe le grand public et sont donc peut-être plus sensibles à l'aspect environnemental.

Annexe 2 – Chaîne de valeur de l'aéronautique

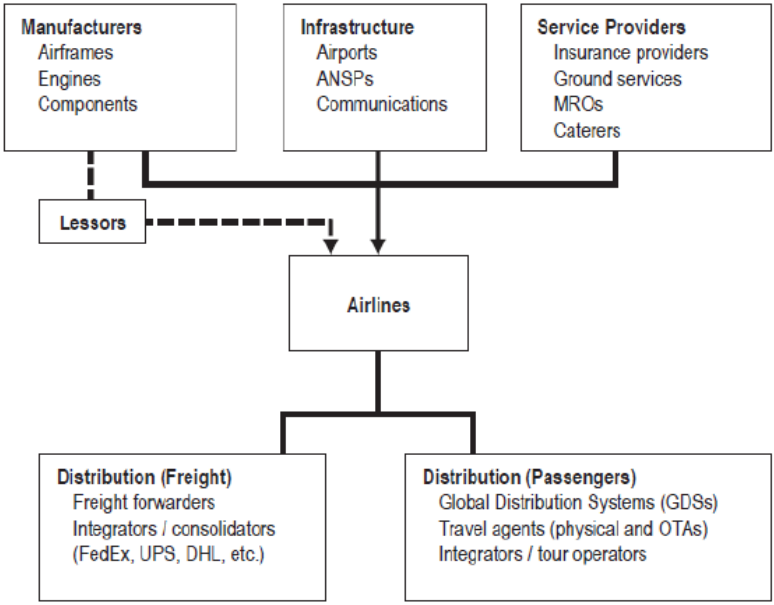


Figure 6 : Chaîne de valeur du secteur aéronautique [6]

Deuxième Prix

Sophie MOUTET et Frédéric NORMAND

ENSIACET & ESTACA

« *Sophie has joined the INP ENSIACET School and followed Industrial Engineering courses. After several aeronautic internships (flying school, BEA, Airbus), she has finally decided to focus her training on aviation safety and airworthiness. She is currently pursuing an Advanced Master at ISAE-Supaero and ENAC.*

Frederic has completed an engineering degree at the ESTACA engineering school. He has focused his training on aircraft operation and maintenance. In October 2015, he has finished an 8-months internship in Luxair Airline at the flight operations department. In January he will start training, in United-Kingdom, to become a commercial pilot.

We think that this year's USAIRE theme is now a major issue in the civil and defense aerospace industry. Hence, participating to this award was the perfect opportunity to learn more and to search solutions for the future. The Industries must now take fully into account their environmental impact. The future of aviation is not only linked with CO_2 emissions but also with noise emission, traffic management, airport developments and new technologies integration.

We wish you to enjoy your reading ».

Sophie Moutet & Frédéric Normand

Le jury a apprecié un dossier riche, plaisant à la lecture, qui avance une vision pluridisciplinaire – politique, strategique, économique et de terrain – toujours pertinente.

USAIRE Student Award 2015

2030 : The environmental issue in the business model of Civil and Defence Aerospace industry

Sophie MOUTET
ENSIACET (Fr) - 5th Year
Supaéro (Fr) - Advanced Master MS ASAA

Frédéric NORMAND
ESTACA (Fr) - 5th Year

Introduction

According to ICAO's[1] environmental report of 2013, global aviation fuel burn is expected to grow around 3-4% per year from **200 Mega tonnes (Mt) in 2015**, to **250 Mt** on the most optimistic scenario and to **380 Mt** if no improvements are done on air traffic management nor on technology, by 2030. In 2015, global aviation is assessed to represent between 2% and 2.5% of global greenhouse emissions.

At the same time militaries have **less funding** but need to do more with the emergence of **new costly technologies**. Civil airlines are playing on an **ultra-competitive** market where customers will select their plane fare, down to the cent (really small financial leeway). Also, major aircraft manufacturers are facing the entry on their market of **new competitive manufacturers** and need to be innovative in order to keep their lead.

In the next 15 years, how will aerospace stakeholders integrate environmental issues in their business model ?

Through this essay you will first get an overview of the **environmental issues** that defence and civil stakeholders are facing. This part deals with aircraft life-cycles, stakeholder's responsibilities from the manufacturer to the operator and some innovative projects. Then we will present you how **civil aviation** will consider environmental issues in their **business models** by 2030. We will see that energy costs and regulations have a huge importance for the future. Finally we will show how **defence aerospace** is also hugely impacted by militaries' priorities.

[1] International Civil Aviation Organisation

Our team

Sophie Moutet joined the ENSIACET engineering school in 2011. She has attended an industrial engineering course. She then has specialised in the aviation sector through internship experiences (Airbus, BEA, flying school...). In September 2015 she will attend an ISAE - Supaéro advanced master MS ASAA - Aviation Safety Aircraft Airworthiness (with ENAC and Ecole de l'Air).

Frederic Normand joined the ESTACA engineering school in 2012. He has attended aeronautical courses and specialised in Operation and Maintenance. Through his internship experiences he has had the opportunity to get a closer look at airline operations and maintenance (Luxair, French Air Force, flying school...). He will be graduating in October 2015 as an Operation and Maintenance Aeronautical Engineer.

Summary

I-1| Environmental issues the for next 15 years 5
- Climate change effects 6
- Raw material shortage 7
- Noise impact 7

I-2| Aircraft stakeholders' responsibilities 8
- Aircraft life cycle 8
- Aviation regulation 9
- Civil manufacturers 10
- Recycling 11

I-3| Innovative research 12
- Alternative fuels and biofuels 12
- Researches and projects 13

II-1| Civil aviation : Today's situation 14
- Airline market 14
- Airport saturation 15
- Aircraft manufacturer 16
- Air Traffic Management 16

II-2| Civil aviation : Forecast for 2030 17
- Airline Policy 17
- SESAR 18
- Environment future vs oil price 19

III-1| Defence aerospace : Different stategies 20
- Today's situation 20
- Militaries acting for the environment 21
- Militaries' strategies 21

III-2| UAV : The miracle solution ? 23
- Improvements 23
- The hidden threats 24

Conclusion 25

Acknowledgements 26

Appendix 1: CO_2 concentration over past 800 000 years 27

Appendix 2 : EU's Critical Raw Materials 28

Appendix 2 : EU's Critical Raw Materials 29

Appendix 3 : Air transportation forecast 30

Appendix 3 : Air transportation forecast 31

Appendix 4 : Air transportation figures 32

Appendix 4 : Air transportation figures 33

Appendix 5 : Other 34

Appendix 5 : Other 35

I-1| Environmental issues the for next 15 years

For more than a century, we have been using cheap energies : coal, oil, natural gas ... This allowed the world to have a prosperous age with huge technology improvements. This energy has formed **over millions years**, layer after layer of sediment, plants and bacterias. In **Appendix 1**,we have compilated NOAA[2] and EPICA [3] data. You can see that global CO_2 concentration in the air has always varied under cycles corresponding to cooling or warming regimes. When CO_2 concentration is high (around 280 PPM[4]) temperature rises. If it is lower (around 190 PPM) the temperature is lower (around -2°C to -6°C compared to present). Note that our current climate is at the **tail-end of a warming period**. Current temperatures are very moderated versus 10 000 years ago (it was 3°C warmer). The big issue is that in 70 years we have released a huge amount of greenhouse gases (here we talk mainly about CO_2). CO_2 concentration is presently at 400 PPM, it has **increased** by **43% since 1850** and keeps growing by 0.6 % - 0.8 % each year. In the past 800 000 years, CO_2 concentration **has never been so high**. Moreover, such an increase normally takes at least 10 000 years (eg : -135 000 BC warming period).

Finally, CO_2 concentration has now reached a level that have never been reached in the past 800 000 years. For 10 000 years, the planet has been trying to finish its warming period and enter into a new ice age. The planet is currently not able to achieve it, and the only explanation is that the CO_2 cycle has been broken by human action. Global warming is real and we need to act quickly against it. If nothing is changed, CO_2 concentration will reach 440 PPM by 2030, resulting in a global temperature increase of around + 0.7 °C.

[2] National Oceanic and Atmospheric Administration (USA)
[3] European Project for Ice Coring in Antarctica (EU)
[4] PPM : Parts per million

Climate change effects

We can easily see the effects of climate change. According to UN's "global assessment report on disaster risk reduction of 2015", extensive disasters are killing twice more people than in the 90's (3 deaths per million against 1.5 in the 90's). Also, extreme weather occurrence probability has increased all around the world (eg, drought in Malawi is 23% more likely than 20 years ago). By 2030, **global average annual loss** due to extreme weather (tornado, hurricane, typhoon, flood, forest fire ...) is estimated to increase up to **$415 billion**.

In the picture to the right, you can see damages caused by Hurricane Andrew on Homestead Air Force Base in Florida. According to ASP (American Security Project), Hurricane Katrina caused $950 million of damage to Keesler Air Force Base in Mississipi.

Hence, climate change is becoming a huge concern for the US military. According to the U.S. Department of Defence Base Structure Report of 2012, U.S military bases are valued at $590 billion. More than the financial issue, the physical and operational security of U.S. military bases around the world is a vital requirement in maintaining the national security of the United States and stability abroad. For example, the island of Diego Garcia in the Indian Ocean is a critical logistical hub for U.S. and British forces in the Middle East and houses critical Air Force Satellite Control Network equipment. The US military is aware that climate change is a threat to the United States and world stability.

Climate change is also influencing militaries' operations. Indeed, when extreme weather strikes a country, the military is often required to support the general public (medical transportation, provision delivery, security management...). For example, this summer, a lot of wildfires have been raging in multiple US western states. The US army has deployed around 500 soldiers to help firefighters.

Raw material shortage

In addition to greenhouse gases and climate change issues there is a raw materials shortage issue. The EU has published a report in 2014 reporting supplying risks for raw materials needed by the European industry. The EU has created a list of Critical Raw Materials (CRMs). As you can see in **Appendix 2**, there is a huge concern about REE [5]. The EU has ranked it as moderately important for the economy but really risky in terms of supplying. China owns 48% of global reserves and has the monopoly with 87% of global production. Moreover, aviation industry is using a lot of raw materials available for few more years. Stocks are clearly running out. For example, silver will run out in 25 years, gold in 35 years, tin in 37 years, zinc in 50 years, titanium and aluminium in 115 years. In the short term vision, antimony production will finish in 7 years, chrome in 9 years. That's why aviation suppliers and manufacturers are heading up recycling. We will talk more about recycling in page 11.

Noise impact

One issue that has no link with climate change : Noise. Aircraft noise is the most significant cause of adverse community reaction related to the operation and expansion of military activities or airports. This is expected to remain the case in most regions of the world for the foreseeable future. Limiting or reducing the number of people affected by significant aircraft noise is therefore one of the aviation stakeholders' priority. In **Appendix 5.a** you can find the decibel scale. Around airports, perceived noise is around 60-80 dB.

Noise complaints are now extremely limiting aircraft operations. In France, the military does not perform training flight during the week-end and limits its operations to daytime as much as possible. Pilots have restriction in after-burn use except in interception cases. Even if average aircraft noise emissions have been reduced by 75% over the past 40 years, a lot of civil airports are limiting their operation during the night. Arrivals into Paris Orly (LFPO) after 22:30 are forbidden. At London Heathrow (EGLL) after 23:00 special agreement is needed.

[5] Rare Earth Elements

At Singapore's Changi airport (WSSS), the use of engine reverses are limited to idle reverse thrust between 00:00 and 06:00 (loc). Also, a lot of airports are limiting run-ups during the night. Noise abatement procedures have been implemented. These new procedures induce steeper climbs and steeper approaches than in the past. Also, we now need to avoid flying over populated area as much as possible, and airports can fine airlines that are not respecting this. These limitations can affect airline operations significantly. We will talk more about this sensitive subject later.

I-2| Aircraft stakeholders' responsibilities

We know that civil and defence aviation greenhouse gas emissions are representing approximately 2.5% of global emissions. Also, contrails are set to contribute about 3% of the total anthropogenic radiative forcing (difference of sunlight absorbed by the Earth and energy radiated back to space) due to human activity (this does not take into account cirrus cloud formation). Above all, global passenger traffic is expected to increase by 5% each year. If we continue at this pace, by 2030 passenger traffic will double. Fuel consumption is expected to increase between 3% and 4 % each year. In 2015, global aviation is set to burn 200 MT[6] of fuel. This is equivalent to 632 million tonnes of CO_2. All of these facts lead to one conclusion : **Aviation needs to take its responsibilities and needs to reduce its impact.**

Aircraft life cycle

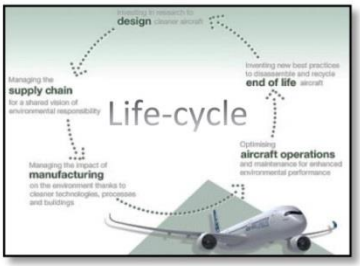
Before presenting aviation responsibilities, we will shortly show the typical life for an aircraft. If you own a car and live in US, you are likely to keep it for 4.75 years. For an aircraft it is completely different. They have a long life expectancy. That's why manufacturers need to anticipate customer's and military's needs. Aircraft that will be operated in 15 years are already designed or in production. Thus, **military aircraft** are designed for **40 / 50 years**.

For example the A400M requirement specifications were defined in 1996. Then the first delivery was in 2013. The A400M was designed to replace the old C-130 Hercules (maiden flight : 1954) and the C-160 Transall (maiden flight : 1963). Also, the US Airforce is still using B-52 (see on the right picture) that were designed 60 years ago. Hence, militaries are using aircraft for huge periods of time.

[6] MT : Mega Tonne - 1T fuel burnt = 3.16T CO_2

In civil aviation it is a bit different. Passengers, and so airlines, have requirements that evolve very quickly. Today, airlines need to transport more passengers at a lower cost. Also jet fuel price has increased a lot in the past 30 years. Regulation is also changing quickly since the 70's and restrictions linked with environmental regulation are increasing exponentially. Manufacturers are building "light" aircraft with a lower life-expectancy compared to robust military aircraft. That's why **civil aircraft** have a life-expectancy of about **20-30 years**. Moreover, airlines have different policies linked to aircraft ownership. Some, like Qatar Airways or Easyjet, prefer to own young aircraft and sell it when huge maintenance checks are to be done (after 10-12 years). Some are only buying second hand aircraft, they need to invest less money but operating costs are huge. Finally there are other airlines, like Airfrance - KLM, which can not afford buying new aircraft each year and use them for around 15-20 years.

Finally, we can easily see that aircraft, which will be operated in 2030, are already in operation or will be built soon.



When we talk about aviation environmental impact, it is crucial to consider each phase of an aircraft life. First, the design, then the supply chain and subcontractor, the manufacturing, the operation and the end of life. The final phase has not been considered for a long time and aircraft were only put in a big landfill.

The operation of an aircraft is the most known phase. It is the phase that produces most of greenhouse gas. We will see how we can change aircraft operations impacts.

As previously said, there are a lot of unknown issues linked with aircraft life-cycles. First the primary resource shortage is starting to become critical. That's why subcontractors need to find other ways of supplying, a possible solution would be the recycling. Also, how do we recycle composite materials ?

Aviation regulation

In 1983, the Committee on Aviation Environmental Protection (CAEP) was established. It assists ICAO Council in formulating new policies and adopting new Standards and Recommended Practices (SARPs). In 2016 a new CAEP standard will be voted regarding to improvements made since 2013.

The goals set on the ICAO environmental report of 2013 are :

- Achieve a global annual average fuel efficiency improvement of 2% from now to 2050
- From 2020, global net carbon emissions from international aviation must stay at the same level → **Carbon-neutral growth**

In 2013, IATA[7] has set long term goals through the "flightpath 2050" :

- **75% reduction in CO_2, 90% reduction in nitrogen oxide** (NOx) emissions
- **Perceived noise emission** of flying aircraft is **reduced by 65%**
- Aircraft movements are emission-free when taxiing
- **Air vehicles** are **designed** and manufactured to be **recyclable**
- Europe is established as a centre of excellence on **sustainable alternative fuels**
- Europe is at the forefront of atmospheric research

Since 2012, the European Commission has implemented the European Union Emissions Trading system (EU ETS). The ETS affects each industry producing greenhouse gas. For now, ETS is affecting EU and non EU airlines which are flying within European Union. In the future, the EU wants to apply it to all aircraft overflying EU airspace. Basically ETS is a tax proportional to CO_2 emissions. If airlines stay under their quota, they don't pay. If they use extra-quotas they would pay around 5€ per T of CO_2. Therefore the price is based on : "the more you emit, the more you pay". Airlines are exempted of ETS taxes if they fly with biofuel.

Civil manufacturers

For the next 20 years, Boeing and Airbus agree on market forecasts indication : **the need for more aircraft**. According to Boeing's market outlook 2015, 21 600 aircraft were in service in 2014 and 43 560 should be in use in 2034. Boeing is aiming at a global aircraft production of 38 050 aircraft between 2015 and 2034. In **Appendix 3.b**, you can find Boeing's market forecasts. For now, the big problem is to increase production. Both **Airbus and Boeing** production lines have more than **8 years of production** in their order book. Regional manufacturers such as ATR or Bombardier have also a lot of orders. Suppliers are now struggling to increase their production as they need to invest a lot of money. **The military sector is different**. Since 2008 subprime crisis and recession government have cut spendings, cancelled aircraft orders, reduced R & D...

At the same time, manufacturers need to follow new regulation and customer demand. For example, during the design step of an engine, the manufacturer has to respect a very sensitive balance between weight, thermic data, composition of exhaust gas and economical data. In order to follow new regulations, several requirements, such as the situation in the aviation market,

[7] International Air Transport Association

performance requirements from customer and environmental requirements, need to be taken into consideration.

The new A320/A330neo and B737MAX projects are good examples to show how manufacturers are beginning to adapt their products to these new constraints. Both Boeing and Airbus have developed more fuel efficient aircraft that produce less emission. More similar projects are likely to come in the next 15 years such as the A380neo that has been announced recently by Fabrice Bregier (Airbus CEO).

Recycling

As previously seen, raw material shortage induces recycling. There are two types of recycling in the aeronautical industry : industrial and aircraft recycling.

First, let's discuss about **industrial recycling**. The aeronautical industries have national and international restrictions. They have to follow REACH[8] European Regulation. It affects the use of chemical products. It specifically target at highly dangerous products like hydraulic fluids, fuels, cleaning or surface treatment products ... The major stakeholders of aeronautical industry (manufacturers, sub-contractors, suppliers...) are able to recycle a part of these products and even metal filings that can also be dangerous. In order to get the ISO 14 001 certificate (environmental management) factories have set up processes to sort waste.

A lot of progress in **aircraft recycling** still need to be done. We can't afford any more huge aircraft boneyards like the famous ones in US (eg Davis – Monthan AFB, Tucson – Arizona). See picture on the right.

Recently some aircraft recyclers like TarmacAerosave, in Tarbes (France), have started their operation. See picture on the left. They recycle the aircraft and can recover 90% of the total weight of an aircraft. The different fluids used in an aircraft have to be handled with great caution as they are generally highly noxious and/or flammable (eg hydraulic fluids like "Skydrol" or even jet fuel).

[8] Registration, Evaluation, Authorisation and restriction of Chemicals

Moreover, the French government has supported the new project of a recycling titanium plant. This could be a new supply resource for the aeronautic industry.

By 2030, new recycling issues will rise. How do we recycle composite materials ? The A350 and B787 are composed of more than 50% of composite materials. We will need to recycle a huge amount of composite in next decades. The heterogeneous hybrid structure of a composite is what make it difficult to recycle. Improvements in separation technologies need to be done. Moreover, more R & D is needed for better recyclable composites.

I-3| Innovative research

Alternative fuels and biofuels

First, let's discuss about fuel researches. Remember, the aviation industry is responsible for 2.5% of man-made global warming emissions (CO_2 and NOx). These emissions are mainly linked to aviation fuel, called Jet A1 and its combustion. Knowing that, we can now see that a lot of research has to be done and are still in progress to find alternatives.

Why are we looking for new fuel ? First because fossil resources are not infinite. Second because by consuming "old energies", we inject in the CO_2 cycle, CO_2 that has been captured millions of years ago. This injection is breaking up CO_2 cycle stability.

Classic fuel : Civil : Jet A1 / Military : JP 8. Used to power jet aircraft, a kerosene based fuel, mixed with anti-freeze products.

Alternative and biofuels : Aviation manufacturers, airlines and militaries are fully aware of their environmental impacts. They all have taken initiatives to develop new alternative and bio fuels. Some of them are already in use in some US airforce test mission, some airlines and test flights.

See in **Appendix 5.c** differences between fossil and biofuel supply chain.

The solution might be the **Drop-In fuels**, those fuels are issued either from biomass or from waste. **Their specificity** is that they **don't need any engine adaptation**, they can be used on **current engines** and even mixed with classic Jet A1. They are made through several chemical processes. Fischer Tropsch, Hydroprocessed Esters and Fatty Acids or Synthetic Iso-paraffin from fermented hydroprocessed sugar are processes that are already approved by ICAO member states.

More biofuels and alternative fuels are to come. Using biofuel, reduces environmental impact. Indeed, we are emitting nearly the same amount of CO_2, but this carbon does not come from fossil resources but from the atmosphere. From the cultivation to the distribution, their environmental impact is between 20% and 90% lower than classic jet fuel. The research on biofuels and alternatives drop in fuels are already improved and keep improving. Manufacturers, like Boeing, consider these projects as a major priority. However, we need to be careful on which biofuel type we use. First generation of biofuel comes from agriculture (sugar beets, sugar cane...). Using this type of biofuel can lead to potential deforestation if no limits or constraints are decided right now. We need to use 2nd or 3rd generation of biofuel, based on human waste or algae (with an environmental-friendly synthesis) .

As you can see it in **Appendix 5.d** sugar cane has nearly zero impact on environment (consuming same amount of CO_2 than emitting). The 10% emission compared to fossil fuel (90% efficiency) is due to cane farming (tractors) and biofuel processing.

Researches and projects

In addition to the research focused on fuels, bio fuels and alternative fuels, we should write some words about famous environment-friendly projects that can renew the aviation industry.

The E-Fan: The E-fan project has been launched in 2011 by EADS (now Airbus Group). Inspired by the Cri-Cri, the E-Fan is an electric powered twin engine aerobatic aircraft. It is propelled by two electric turbines giving a maximum power of 60kWatts and powered by lithium-ions and polymer batteries. By 2017, E-Fan 2.0 will go into production and will aim pilot training market. Its autonomy reaches around 30 min.

The A320neo, A330neo, B737MAX... : Still using classic fuel, these very famous and successful aircraft are showing us that manufacturers are fully aware of today's economical and environmental constraints.

The solar impulse : in 2003 Bertrand Piccard and André Borschberg have decided to create a solar energy powered aeroplane. Now and since March 2015 the Solar Impulse 2 has begun a world tour. By creating this project, the founders didn't want to revolutionise the aeronautical industry but simply change our mind and show us that it is possible to fly by using only solar energy...

The 3 projects cited above are a small example of all the projects that are under development. Suppliers are also trying to get better alloys, better paints, new glues, new processes, new composites...

In parallel to these environmentally friendly projects, some supersonic projects are coming back. The Aerion AS2 has open its order book. It would fly at Mach 1.4. As it is impossible to fly supersonic speeds over the U.S, they designed a boomless cruise at M1.1 where the shock waves that cause a sonic boom would,

essentially, dissipate before reaching the ground. The Spike S-512 supersonic jet is also promising and would fly at M1.6. These two supersonic aircraft are business jets carrying a maximum of 20 passengers.

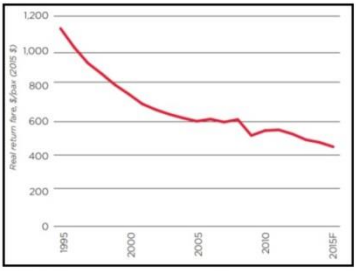
Up to here, we have seen what environmental issues and challenges defence and civil stakeholders are facing. Let's see how civil aviation will consider environmental issues in their business models by 2030.

II-1| Civil aviation : Today's situation

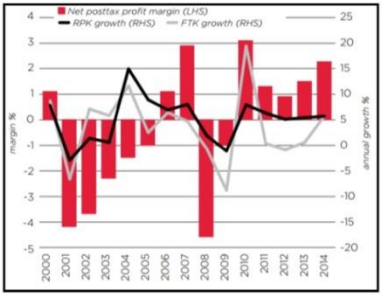
We will present you how civil aviation is working today. Then we will see how civil stakeholders will integrate environmental issues by 2030.

Airline market

First, let's take a look at the airline market. It is an ultra competitive market that since the 90's, **average fares have dropped by 67 %** (according to IATA - taking inflation into account - see picture on the right). The first low-cost carrier to settle was Southwest. Then, the concept has been imported to Europe with Ryanair and Easyjet. This has hugely impacted legacy carriers (such as Delta, BA, Lufthansa, Singapore Airlines...). By 2020, low cost is expected to **reach parity with legacies**. That's why some legacy carriers have created their own low-cost carrier (eg : Transavia / Airfrance KLM - Germanwings / Lufthansa - Tigerair / Singapore Airlines) other have adapted their policy by charging extra luggage, meals on-board, seat choice...etc



Global average returne fare (source : IATA)



Annual traffic growth and profit margin
(source : IATA)

According to the 2015 IATA annual review, airlines have a really small margin. Around 1 to 2 % for legacy carriers and between 4 to 6 % for low-cost carriers. On the graph to the left, you can find airline margin, RPK and FTK growth. RPK (Revenue Passenger-Kilometres) is the passenger market indicator, one RPK represents one kilometre flown by one passenger paying their fare. FTK (Freight Tonne-Kilometres) is the cargo market indicator.

Airline market has always followed cycles (see **Appendix 4.a** passenger traffic over 50 years). So far, the crises with the bigger impact have been : the Gulf crisis, The World Trade Center 9/11 attack and the subprime crisis. In 10 years, RPK has increased by 62%. ICAO forecasts show that RPK will increase by 5% each year. It means that **each 15 years passenger traffic load will double** ! Load factor is also a good news. Aircraft capacity utilised went from 70% in 2000 to 79% in 2014. For low cost carriers, load factor is even better : In 2014 : 90.6% for Easyjet, 82.5 % for Southwest and 82.1% for Tigerair. Since 2 years, most of the passenger airlines are recovering well. For cargo carriers it is still difficult. They have been extremely affected by the recession and are recovering very slowly.

Airlines are spending one third of their budget on fuel. It has a huge impact on the airline business plan. Between 2011 and 2014 jet fuel price was around 100$ per barrel (≈ 0.73 € / Lt). But, Jet fuel price has dropped by 51 % in 1 year ! (0.73 € / L in August 2014 vs 0.36 € / L in August 2015). At the beginning of the price drop, airlines had not been affected as they use hedgings. A fuel hedge is when an airline makes an agreement (for 6 months or 1 year) with a company that ensures a fixed fuel price (eg 90$ per barrel). You can see in **Appendix 4.b** jet fuel price over 10 last years. We will show you later how airlines can change their strategy depending on the fuel price.

Remember, airline market is extremely competitive. On top of that, a lot of new pilots and new cabin crews were struggling to find a job. Hence, most of airlines are now asking for more money for TR (Type Rating – Specific training on an aircraft in order to fly it). Some airlines go even further, by asking young pilots, without experience, to pay around 60 000 € to fly the aircraft for 500 FH (Flying Hours). Some pilot accept to pay this in order to gain experience and to get better chance to find a job. Do not forget that the aircraft will carry passengers at the same time cockpit crews are paying to fly ...

Some airlines have also diversified their activity. For example, Ryanair is ordering new aircraft (eg : B737NG / B737 Max) when all other airlines are in trouble (remember that airline market is cyclical). Hence Ryanair can get better offers from Boeing. Then when airlines recover and need more aircraft, Ryanair is ready to sell its B737 immediately. Remember that Boeing orderbook reaches around 8 years. Hence airlines need to wait a lot when they order an aircraft to the manufacturer.

Airport saturation

Remember, we said that noise emission is a big problem for aviation. Indeed, airports are receiving numerous complaints and they can hardly extend (eg London Heathrow airport wants to build a 3rd runway). Hence, traffic is increasing by 5% each year and at the same time you can barely increase the airport capacity. Only western countries are dealing with this issue. In Asia or Middle East, airports are sprouting ! For example, in April 2014 the country of Qatar opened its new airport: Hamad International Airport. By 2027 the airport is expected to handle 160 million passengers a year ! (for comparison, London Heathrow airport has handled 73.4 million passengers in 2014).

Aircraft manufacturer

We have already discussed about aircraft manufacturer and their efforts to answer customer and authorities' expectations. However in the next 15 years, civil market will be shaken by new manufacturer. Comac, Mitsubishi or even Sukhoi will attack Boeing and Airbus leadership on the single aisle aircraft market. Embraer and Bombardier will deliver their new 100 seats aircraft soon. Business jets market will see new stakeholders, like Pilatus and its PC-24.

Air Traffic Management

In addition to airport saturation, western countries are facing ATS [9] saturation. In terms of ATM, Europe has around 5-10 years of lateness compared to the US. The European Union is split around 58 FIR/UFI [10]. Each airspace has its own rules (separation, speed and altitude clearances...). A lot of improvements have already been done in order to standardise ATS. But still, airlines are complaining about non-optimised clearances given by ATC. In **Appendix 5.b**, you can find what is an optimised flight profile. First, the aircraft flies a continuous climb. Then when it reaches cruise level, as its mass decreases (due to fuel consumption) pilots can increase altitude to consume less fuel. When they reach the Top of Descend they would start a continuous descent with engine thrust in idle position. Today, as airspace is really busy, it is impossible, for now, to fly in such a way. We need to fly by steps. Pilots climb to the first level cleared, then wait for a second clearance ... Also, according to the Eurocontrol's Network Operations Portal, each flight flying into European airspace is, in average, delayed by 1 min. This delay should be due to ATC. 1 min x 26 000 (flights per day) x 1 year x 1 500 (average fuel conso per h in kg) / 60 = 29.7 million litres. The possible saving for only 1 min per flight is huge.

Military aircraft are not exempt of ATC use. Since 10 years military traffics have been fully integrated in civil airspace. They now need to follow civil requirements (e.g VHF radio, TCAS system ...). For example the A400M has firstly been certified for civil use and then will demonstrate its military operationality.

So what are the forecast for 2030 ? How will we integrate environmental issue in civil aviation ?

[9] Air Traffic Services
[10] Flight Information Region / Upper Flight Information

Airline Policy

As we have previously seen, the fuel price has a huge impact on airline policy. Since the last year, the fuel has become really cheap. Hence, any investment to reduce fuel consumption is amortised on a longer period than if fuel was much expensive. The cost of a flying hour is a factor of fuel cost, maintenance cost and crew cost. If the fuel cost is reduced then other expense have more weight and we will try to reduce it. Basically, if fuel is cheap, airlines will fly faster in order to reduce maintenance and crew cost. Indeed maintenance is done proportionally to aircraft flying hours. Also crew is paid proportionally to its flying time. So we can see that airlines are not aiming at fuel savings but cost savings. If we consume more and we pay less at the end, then we will do it. We will discuss about fuel price just later.

The airline market will change in 15 years. In 2030 low-cost carriers will reach the parity and will own half of passenger traffic. They will also attack long haul flights market (eg Norwegian is aiming to sell transatlantic flights at half price). So we know that average return fare will decrease and will stabilise around 350 $. This price evolution will mainly depend of fuel price.

As Boeing forecasts it, traffic growth will be low (+1 / +2 %) in EU and USA but will be huge in Middle-East and Asia (+7/ +9%). Just by having a look of 2015 manufacturer's orderbook, we can see that Gulf carriers will gain a lot of market share.

We will probably see the arrival of some new supersonic aircraft but they will only concern wealthy people as aircraft will be business jets.

Even if fuel price stays low, Airlines will try to reduce their environmental impact by investing money in new technologies and new procedures. As previously discuss, we can expect to taxi with all engines shut-down. They will also do their best to get more efficient routes and flight profiles. Above all, airlines will follow regulation which will impose new standards, that are more environmentally friendly. As the US is becoming aware of global climate challenges, they will probably apply ETS system in their country. Then Asia and Middle-East will follow it. On the other hand, we can expect to have a huge financial speculation on CO_2 price and exchanges.

SESAR

In 2030, The Single European Sky ATM Research will be effective and European airspace capacity will be increased. The number of flights will increase by 76%, from 9.6 million per year to 16.9 million. Passenger traffic will reach 2.7 billion per year. Airspace capacity will double and by 2050 it will triple.

The old ATM, designed in the 50's and used until 2020 will be hugely improved. European air traffic controllers will be based at one and unique place. Airport will still be managed by controllers in their tower but not for long. By 2050, controllers will manage their airport remotely, using video cameras and new management system. Pilots will not talk any more by using VHF, frequencies that are overloaded, they will send request and receive clearance via FMC [11]. ATM costs will be reduced by 50% and airlines will reduce their fare.

The standardisation of European sky will be a model for other countries. It will also allow Airlines to fly more efficient routes and flight profiles. As the technology will be more accurate and will use EGNOS[12] (Satellite Based Augmentation System, based in 2015 on GPS signal but on GALLILEO signal in 2030). This improvement in accuracy will allow a separation reduction between aircraft.

In 2030, i4D management will be generally applied. It is 3D aircraft management plus time management that is crucial in congested areas. The coordination is done between all aircraft in the air and ground facilities. Each aircraft gets a time slot on a merging point. No more useless time will be spent in holdings. The fuel consumed will be reduced by -11%. Safety will be increased as conflicts will decrease by 68%

The aircraft will now fly Continuous Descent Approach (CDA) and will land with RNP approaches (Required Navigation Performance). RNP is a new way to fly approach that have been elaborated in 2003 in USA. EGNOS will also allow aircraft to be separated, not based on the distance between two aircraft, but based on time. This technique was elaborated in 2012 by NATS in London Heathrow airport: Time Based Separation. When headwind is strong, the airport capacity will not be reduced as in the past.

Eventually, on the final approach, during the CDA, flaps and landing gears will be set only 3 minutes before landing. It will decrease aerodynamic noise emission. SESAR program will help to reach ACARE [13] goals of reducing aviation impact.

[11] Flight Management Computer
[12] European Geostationary Navigation Overlay Service
[13] Aeronautical Research in Europe

Environment future vs oil price

Oil price is really volatile and is affected by a lot of factors. First the more oil is produced, compared to demand, the cheaper it is. This is what has happened in 2014 when the US has increased its oil production. Also Middle-East tensions are affecting market. It is proved that IS (Islamic State) is producing around 50 000 barrels of oil per day (and is sell on black market). It is few compared to 85 000 000 barrels global production. One major factor for oil price is GDP (Gross Domestic Product). Remember that our modern world is based on growth. The improvement in shale gas and tar sands exploitation has also an impact. Moreover, new agreements on Antarctica oil drilling mean more oil production. It is nearly impossible to forecast oil price for the next 15 years as it is mainly based on financial speculation and geopolitics. Therefore, what we can say is that a cheap energy is not a good news for the environment. As long as oil price is under 80$ per barrel it is not profitable to develop alternative solutions. **Biofuels are really promising**, in two conditions : **their production is not influencing food production, or inducing deforestation,** and it needs to be **competitive against "old energies"**. Governments have also the possibility to increase taxation on "old energies" and subsidise new alternatives. The problem is that a cheap energy means, in short term, a cheap industry, good exportation and a good growth. But governments need to act for **medium and long term**...

Fortunately, aviation stakeholders will take their responsibilities and follow their engagements. Recycling will be predominant. Recycling is emitting 4 times less CO_2 than raw material extraction. Each process will be taxed proportionally to its CO_2 emission. Hence raw materials will be too expensive. You can see in **Appendix 3.a** industry commitments of 2013. The zone 1 requires a fuel efficiency improvement of -2% per year. If commitments are respected, they will lead to a carbon-neutral growth period between 2020 and 2040 (zone 2). Then, by 2050 global aviation emission will decrease by -50%. The huge decrease after 2035 will be caused by biofuel improvement. Best biofuels will be 90% more "CO_2 efficient" than old oil.

Let's now focus on militaries and their different strategies against environmental issues.

Today's situation

Remember, the subprime crisis has shaken the world. Then, governments needed to make cuts. In Europe, governments have reduced defence spendings since 2008, -16% in France during past 7 years and -7.5% in United Kingdom for the previous year. At the same time, our world is changing. The number of conflicts have dropped by 50% since the cold war end. Today, global conflict are stable since 15 years (around 25 conflicts). The invisible enemies are now the terrorists via the Islamic State. Since Charlie Hebdo terrorist attack, French president has increased budget for defence. Moreover, climate change will also impact our defence needs. Natural disasters and poverty are set to increase.

Surveillance and citizen protection against terrorism:

Since 11th of September 2001, terrorism has become the first and most dangerous world enemy. Obviously in that case, security primes against environmental friendly procedures. The need is to have operational aircraft. As we are using militaries' fleet at their maximum potential, a lot of money needs to be invest in maintenance. Government priorities are not to reduce environmental impact.

Humanitarian missions :

As we have presented in page 6, global change is inducing more extreme weather conditions. Hence, militaries are requested to manage these catastrophes (floods, tsunami, typhoon, tornado, forest fire ...). Moreover, these events are more affecting developing countries as they don't have fundings be prepared against these events.

Transport aircraft are assigned to carry food, goods, and even medicine supplies. It is often the United Nation that takes care of these missions. UN is requiring a soldier quota per member country. They will then act together under blue or white vehicle (the blue helmets). Aircraft and helicopters are also used to help isolated areas.

Also, by the end of mid-2016, Europe will see the rush of around 650 000 more war and political refugees. Hence, military resources need to be used to handle the situation, spot makeshift boats and rescue them.

Militaries acting for the environment

Noise emissions :

As previously said in page 7, aircraft noise is an issue for noisy fighter aircraft. Fighter pilots have to respect new procedures and minimise their noise emissions. For example, the Australian Defence is fully aware of the noise disturbance to residents living near bases. They are limiting flying speed in populated areas, avoiding the use of after burn. They climb as quickly as possible and try to minimise late and night flights. By contrast, if there is a need for an immediate interception or intervention noise emissions is set aside. Above all, militaries need stay operational.

Greenhouse emissions :

Even US army has become aware of climate change challenges. Nevertheless, as you have seen in page 8, military aircraft are operated for 40 - 50 years. As old aircraft have more impact on environment, we can retire them. However, we can barely act on designing new aircraft. We need to find solutions and act now. That's why governments are aiming at biofuel technology. As you can see in page 12, we can produce drop-in biofuel and replace immediately old jet fuel. This would also allow countries to be more fuel independent, as biofuel can be produced where there are sun and water. We will talk more about fuel independence later.

Militaries' strategies

Countries have not all the same defence strategies. Western countries are trying to cut spendings but they still need to be operational. They are also investing money in aviation R & D to carry more load, be more furtive or to detect enemies faster. The new challenge is to juggle between operationality and environmental constraints with lots of budget cuts. Also, western militaries need to be multi-role : capable of offence, defence, monitoring, maintaining security and training.

European Union members want to share EU defence costs. By creating a common army, European countries will first be more united and risks of internal war will be more reduced (no war in Western Europe since 70 years). On the other hand, the operating costs can also be reduced. 5 years ago, United Kingdom and France was discussing about share an aircraft carrier (French single aircraft carrier has a low operationality rate). R & D is more efficient and aircraft production costs are reduced. Still, some countries like France, want to stay independent in some projects (eg Rafale vs Eurofighter projects). The A400M is a good example to resume new strategies. The A400M is designed as an A380. Its maintenance is less costly but the aircraft is less operational. The idea is to optimise maintenance tasks and use parts at their maximum potential. Also, the use of composite and its performances are limiting A400M operations for rough field landings. Sand and rock are projected to fuselage but composite materials react badly to impacts.

US has increased its oil production last year. However, in case of a war, they can easily reopen all their oil drills and will be again fuel independent. In Europe, the only oil reserves are in the north countries (eg Baltic sea). Hence, Europe Union can barely be fuel independent.

In Russia, it is a bit different. First, Russian aircraft are old but robust. Their aircraft are designed to do unique mission (recognition, or bombing, or fighting). As Russia is fully fuel-independent, there are no worries about fuel consumption and greenhouse emissions. Moreover, nobody will complain about noise disturbance. In Asia, countries are modernising their old "USSR [14] fighters". In June, India has ordered 36 "ready to fly" Rafale. China is self-sufficient in developing fighters (new Chengdu J-20 or advanced heavy fighter J-11D). After parade of 2nd of September 2015, President Xi Jinping has announced a cut of 300 000 troops in China's army.

[14] Union of Soviet Socialist Republics

Improvements

The first Unmanned Aerial Vehicle to fly has been the Nazy V-1 rocket. Modern UAV are also mainly designed for warfare. Two years ago, the USAIRE student award was focused on future UAV use. It shows the growing importance of it. For now this new technology is mainly reserved for military use. In this essay we are not talking about small civilian ones. However, in 15 years UAVs will also be used for humanitarian actions in remote locations. After a natural catastrophe, it is important to see damages and have an overview of the situation. Then they will also be used for agricultural and environmental missions (such as spreading, mapping and inventory of animals, prevention from natural disaster etc...)

So what UAVs can do against climate change ? How will it be uses for military operations in 15 years?

First UAVs have been designed to reach sensitive places without any risk for pilots. Hence, without pilot an aircraft can carry more loads (bombs, missiles or fuel). Also, a UAV can fly hours without fatigue issue. New UAVs can even make air to air refuelling, hence they will be able to fly days. A UAV is not really designed to do dogfights (air to air combat). UAVs are designed to stay in a region for a long period of time. Hence, it doesn't fly fast. UAVs need to have a high autonomy. That's why, their use is saving fuel and have less impact on the environment than a fighter aircraft.

The hidden threats

As always, new technology is bringing new problems. The use of UCAVs [15] is disconnecting pilots from the reality of their action. US army is flying most of its UAVs remotely, from Grand Forks Air Force Base in North Dakota. Hence, pilots are piloting, from a peaceful country, a war weapon flying thousands of kilometres away. It can be assimilated to a video game. Moreover, drone pilots are sleeping at home each night. This huge contrast can have many impacts on drone pilots' mental health. A lot of US drone pilots have burnt out.

Also European Union has not yet drone technology. Americans and Israelian have led the market for years. The nEUROn UCAV is promising independence for EU army.

This technology is not ideal, new weapons are designed to destroy easily a UAV from the ground. By using highly powered laser, it is possible to destroy flying controls. In the civil world, UAVs are becoming a threat as their use has been democratised and airlines have reported a lot of collision avoidance with UAVs. New UAV users don't know the regulation and fly them wherever they want. As the terrorist attack menace is huge, anti-UAV device is needed by governments in order to protect sensitive places (nuclear plants, power dams, white house ...)

Finally, for the next 15 years, the new drone technology can have very good impacts for the environment especially in a military use, but the governments and regulation are not fully ready to welcome them in the civil airspace.

[15] Unmanned Combat Air Vehicle

Conclusion

On the 1st of September 2015, at the GLACIER conference, Anchorage - Alaska, President Barack Obama said :
"Climate change is no longer some far-off problem. Climate change is already disrupting our agriculture and ecosystems, our water and food supplies, our energy and infrastructure. [...] As the leader of the world's largest economy and its second largest emitter, I have come to say that the United States recognizes our role in creating this problem, and we embrace our responsibility to help solve it. And I believe we can solve it. That's the good news. Even if we cannot reverse the damage that we've already caused, we have the means - the scientific imagination and technological innovation - to avoid irreparable harm."

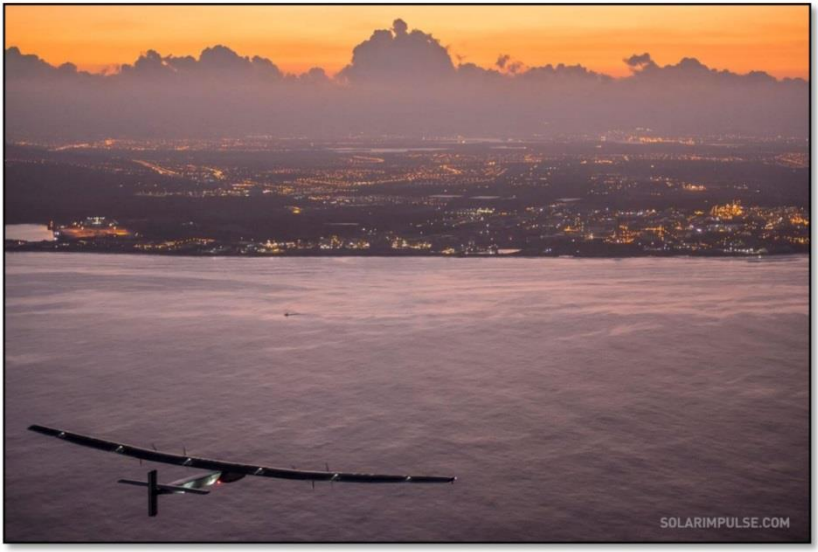
This speech from the leader of the 2nd most greenhouse gas emitter is promising. Therefore US has not yet signed Kyoto protocol and has not taken any engagement. In November 2016, the US will elect a new president. A new democratic president has never been elected after a democratic incumbent president. Each 1 or 2 mandates, the white house has always alternated between republicans and democratics. It is also important to notice that Obama does not have the congress on his side. For now, all republican candidates only talk about growth, gun laws or immigrants... If a republican is elected we can assume that no environmental engagement will be taken by the US over next 8 years. If the US takes the decision to cut its greenhouse gas emissions, the world could completely change as other countries would follow (Canada, Australia, China, India ...).

Beyond the American elections, the environmental question concerns each of us. The NATO, the ICAO, the IATA, the FAA, the EASA etc... all of these institutions are aware of today's Earth situation. The technological and industrial evolutions we have known since the 20th century have impacted the environment in an irreversible way. But we still have a chance to change policies and preserve our resources and atmosphere. Numerous actions and studies are being taken to improve the aeronautic industry towards the environmental concerns. As today our thoughts are now focused on an evolution in respect to the environment, we can think and hope that in 15 years and after, thanks to our current technology and our capability to evolve, we will find a way to fly "green" and with the minimum if not none environmental impacts.

Acknowledgements

We were really glad to have the opportunity to meet the LISAIRE and ORAJe teams during the Paris Air Show on 19th June 2015.

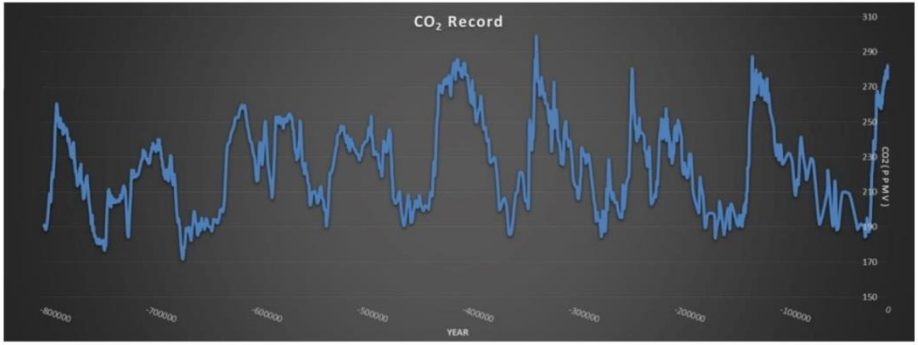
Thank you for the very fascinating conferences on environmental issues in aeronautical industries. Treating and analysing this subject has allowed us to realise the importance of this topic linked with our passion : aviation !



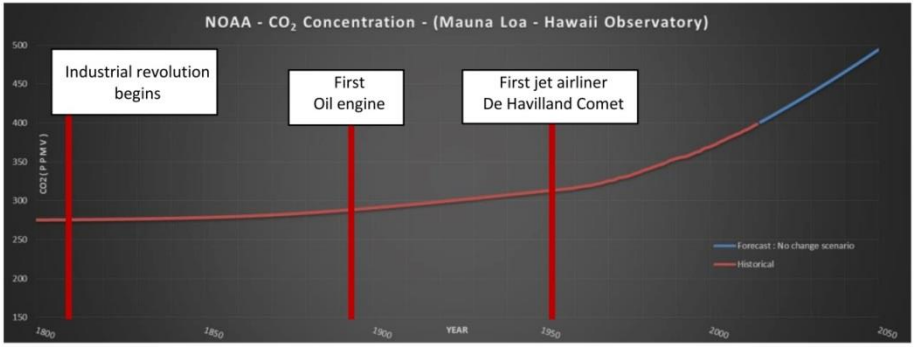
Appendix 1: CO_2 concentration over past 800 000 years

- From -800 000 BC to present

Source :
NOAA
Bern University
Grenoble University



- Past 150 years and forecast

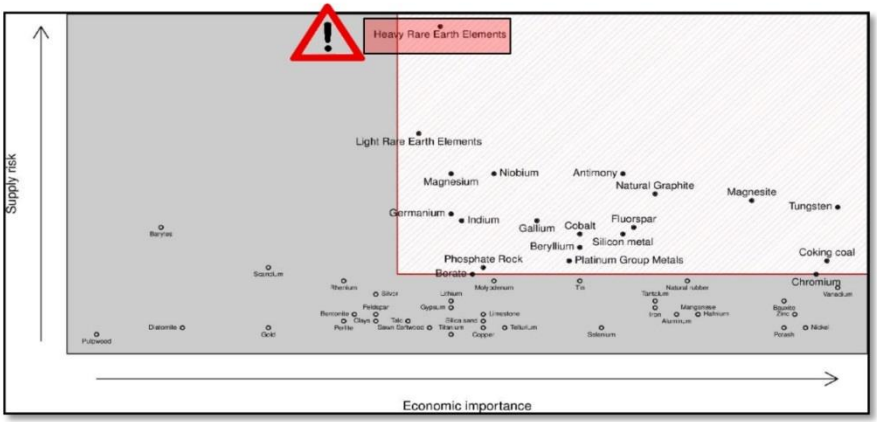


Appendix 2 : EU's Critical Raw Materials

a. CRMs in function of supply risk and economic importance

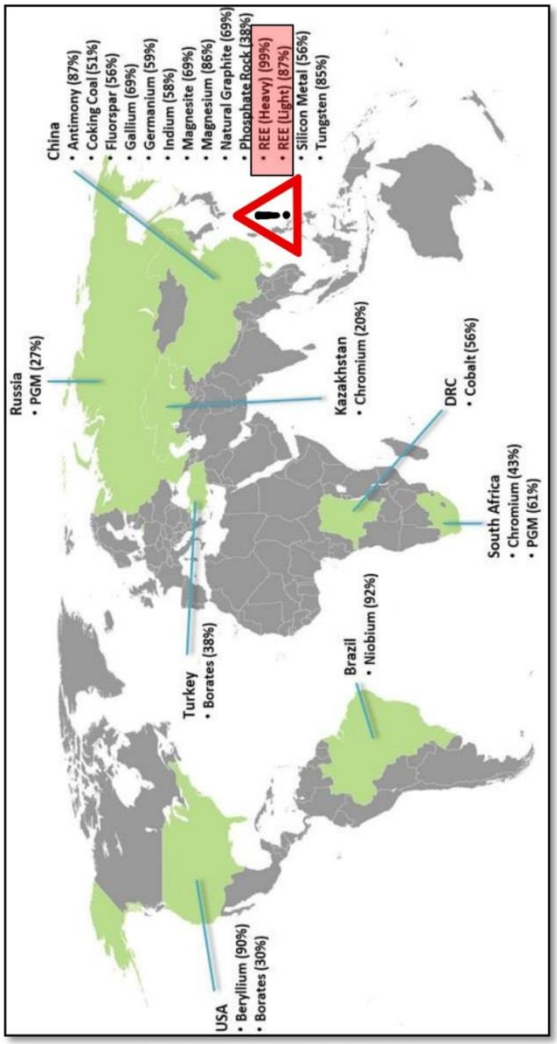
Economic importance : The proportion of each material associated with industrial megasectors such as construction, combined with its gross value added to EU GDP. This total is scaled according to total EU GDP to define the overall economic importance of a material.

Supply risk : The World Governance Indicator (WGI) is used to measure the supply risks of raw materials. This indicator takes into account accountability, political stability and absence of violence, government effectiveness, regulatory quality, and rule of law.
(Source : European Commission)



Appendix 2 : EU's Critical Raw Materials

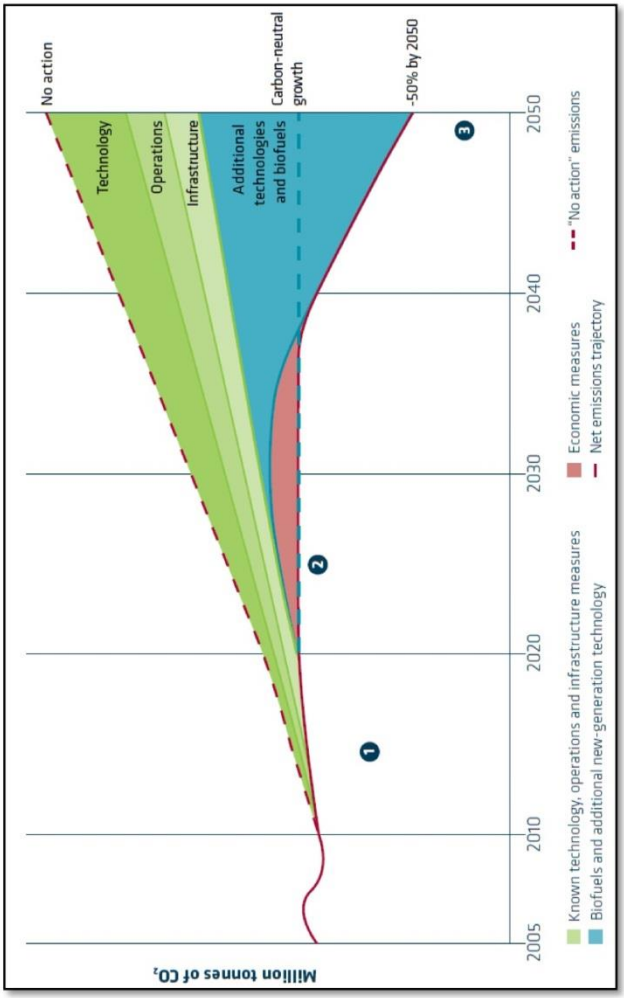
b. CRMs production



Appendix 3 : Air transportation forecast

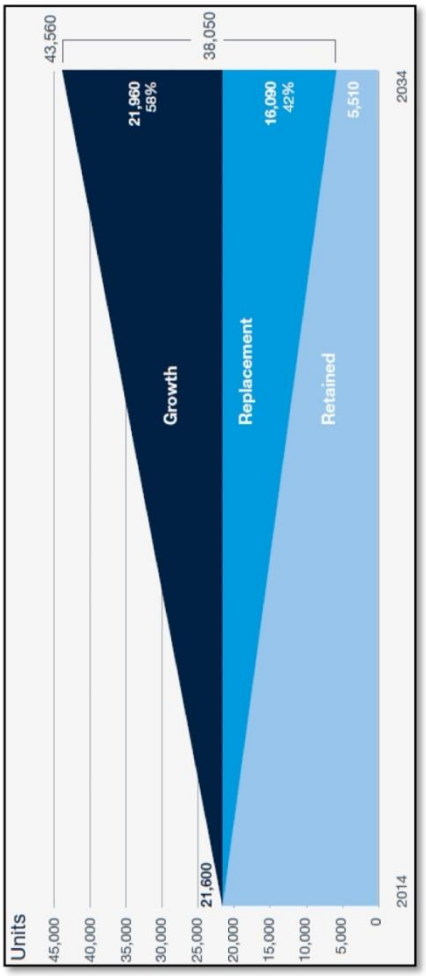
a. Mapping out the industry commitments

(Source : ATAG - Air Transport Action Group : for the 38th ICAO Assembly October 2013)



b. 20 years civil aircraft forecast

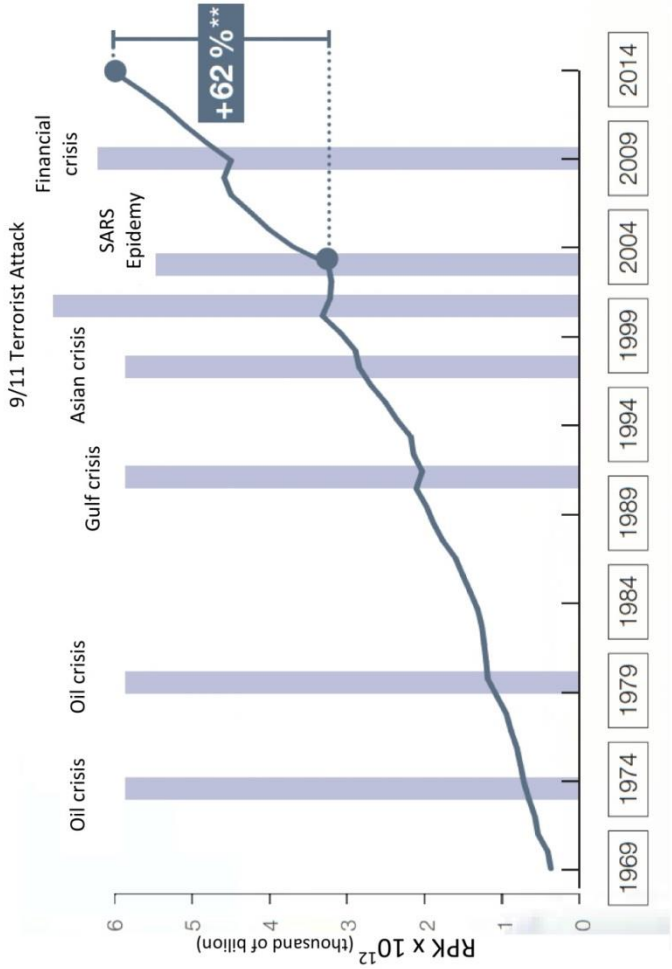
(Source : Boeing Current Market Outlook 2015)



Appendix 4 : Air transportation figures

a. Revenue Passenger Kilometre over 50 years

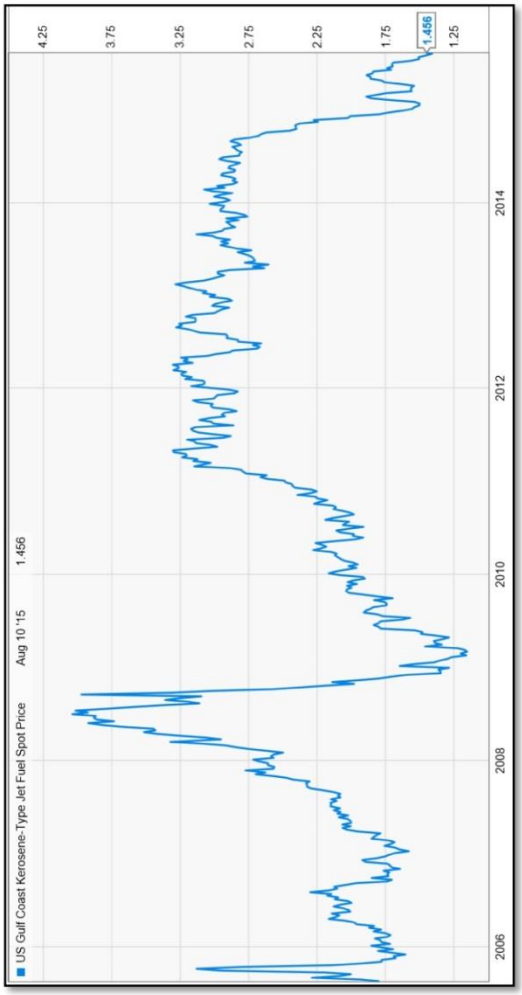
(Source : ICAO + Airbus)



Appendix 4 : Air transportation figures

b. Jet Fuel price over 10 years ($ / US gallon = 3.78 Lt)

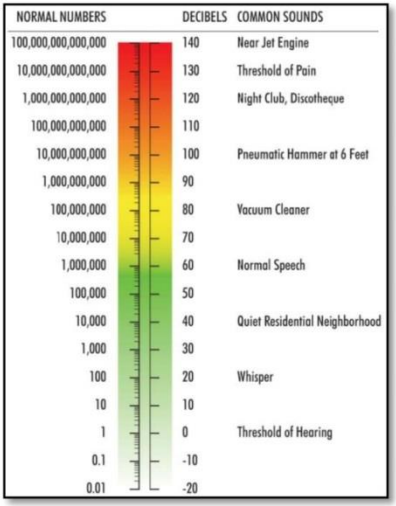
(Source : Ycharts.com)



Appendix 5 : Other

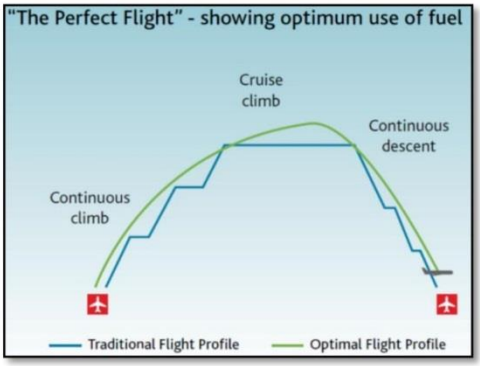
a. The decibel scale

(Source : Environmental Science Associates)



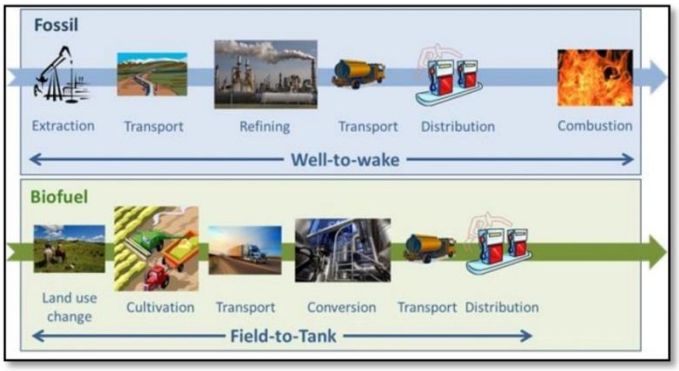
b. The perfect flight profile

(Source : NATS - National Air Traffic Services)



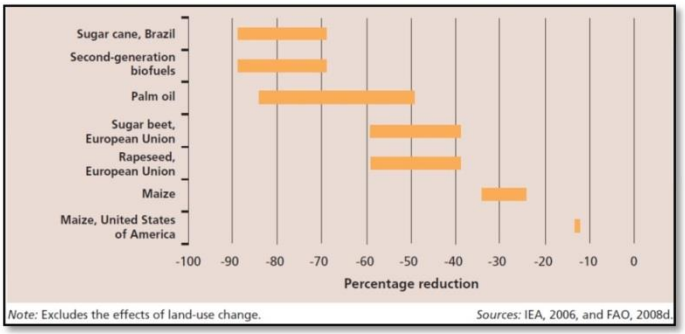
Appendix 5 : Other

c. Fuels supplying processes



d. Reductions in greenhouse gas emissions of biofuels *

* relative to fossil fuels



Troisième prix

Julien LEFORT et Romain BOUCHET

ISAE Supaéro

"Les enfants rêvent. Certains se voient pompiers ou astronautes; mon rêve à moi était de faire voler les gens. Je me suis cependant vite rendu compte que ce rêve se voyait confronté à de nombreuses limites, notamment sur le plan environnemental: on ne peut pas dire que les avions des années 90 respectaient au mieux la planète bleue! C'est alors que j'ai décidé de rejoindre Supaéro pour pouvoir me spécialiser dans la propulsion, domaine d'étude passionnant où tant reste à faire! Plutôt que de rêver à des aéronefs qui ne pollueraient pas, l'ingénieur que je suis devenu entend bien s'investir pour limiter leurs empreintes environnementales… et développer leurs performances!"

Romain Bouchet

"Depuis tout petit, j'ai eu l'occasion de voyager par la voie des cieux et d'observer ces magnifiques machines volantes, ressentir cet incomparable frisson lors du décollage, contempler les équipes au sol s'affairant autour des avions… J'ai donc intégré l'ESTACA pour me spécialiser ensuite en propulsion aéronautique à SUPAERO. Ayant découvert les essais au travers de mes stages, j'ai été conquis par leur méthode: tester des produits, puis investiguer tout les problèmes qui surviennent, aussi inattendus fussent-ils. Allier ce métier avec la propulsion tout en œuvrant pour des vols plus verts… Que rêver de mieux pour la suite?"

Julien Lefort

Le jury a apprecié l'audace stylistique et la qualité didactique de ce rapport, qui derrière la simplicité de façade laisse deviner une grande maîtrise des concepts et technologies convoqués.

PROJET USAIRE

2030 : La question environnementale dans le modèle économique de l'industrie aéronautique civile et de défense

USAIRE Student Award 2015

10ème édition

Romain BOUCHET
Julien LEFORT

6 septembre 2015

Texte de présélection…

~~~

Par une longue matinée pluvieuse du printemps 2031, Louis, ingénieur aéronautique, décide d'emmener son fils Clément au berceau même de l'aéronautique française : le musée du Bourget. Du haut de sa quarantaine, ce père de famille a pu participer à ce que les médias appelleront plus tard l'une des plus grandes transitions économiques du 21ème siècle. Quant à Clément, collégien impatient d'entrer dans le musée, écoute d'une oreille enthousiaste son père lui expliquer le programme de la journée.

« Tu vois, quand j'avais ton âge, l'industrie aéronautique tournait à plein régime, et de nombreux projets voyaient le jour. Cependant, peu de temps après, nous nous sommes rendus compte que toute cette industrie commençait à s'essouffler. L'histoire que je m'apprête à te raconter prend naissance au début des années 2000, bien après les deux premiers chocs pétroliers dont ton grand père a pu te parler. En ce début du 21ème siècle, le prix du pétrole battu tous les records, plaçant la plupart des pays consommateurs de cet or noir dans un contexte économique bien sombre. À cela vint s'ajouter une prise de conscience du réchauffement climatique. Corrélé à l'augmentation du trafic aérien que nous prévoyions d'ici 2030, de grandes inquiétudes planaient sur le futur de notre planète. Ainsi, bien que l'industrie aéronautique ne représentait pas la plus importante part des émissions de polluants dans le monde du transport, nous nous devions de montrer l'exemple.

C'est pourquoi les constructeurs n'avaient d'autres choix que de développer des avions moins gourmands, moins polluants mais également moins bruyants. Dès lors, une organisation relative aux vols civils internationaux, l'OACI, imposa un cahier des charges aux constructeurs, afin de fixer des seuils d'émissions sonores de plus en plus contraignants. Les
~~~

aéronefs militaires se voyaient quant à eux exclus de ces obligations. Néanmoins, la prise en compte du bruit ne leur était pas superflue ! Quand nous irons sur le stand des appareils militaires, je te montrerai un outil incontournable : le radar. Il permet à lui seul de détecter, comme tes oreilles et tes yeux le font, un avion à des centaines de kilomètres. Et à quoi ton oreille détecte-t-elle un corps étranger ? Au bruit ! C'est donc l'une des raisons qui ont contraint l'industrie militaire à diminuer le son de leurs appareils. Et pour ce faire, un type d'aéronef assez récent a vu le jour : le drone. Et oui, à mon époque un avion de chasse devait lui aussi être piloté par un humain installé à bord de l'appareil. Ces drones ont également permis de diminuer les consommations et ainsi de garantir un rayon d'action suffisant pour la plupart de leurs missions. Tu peux ainsi te rendre compte qu'aujourd'hui comme hier, le monde militaire tend à privilégier l'aspect performances face au côté environnemental.

Reparlons maintenant des avions civils. Les modèles économiques des compagnies aériennes sont basés sur du long terme. Il leur est par conséquent indispensable de connaître les dépenses pour faire voler cet appareil : c'est ce qu'on appelle le coût d'opérabilité. Il regroupe plusieurs secteurs comme la maintenance, les taxes et surtout le carburant qui, à lui seul, représente 40% de ce coût ! Ainsi, avec ce que les économistes ont appelé en 2008 « le troisième choc pétrolier », il était crucial de diminuer ce coût. Le meilleur levier revenait donc à faire chuter la consommation des appareils. Les constructeurs ont d'abord choisi d'œuvrer sur une remotorisation de leurs avions. Ce travail s'est alors porté sur les grands succès de l'aéronautique : l'A320-neo et B737-MAX. Face à une rentabilité rapide, cette technologie s'est élargie notamment à l'A380-neo dont tu es monté à bord l'année dernière pour ton voyage au Japon. Il me semble que la salle 7 expose cette technologie incrémentale. Puis, pour pouvoir atteindre des performances encore plus conséquentes, il aura fallu repenser le design intégral de l'appareil. C'est le cas du tout dernier né d'Airbus équipé d'open rotor, dont tu as vu le vol d'essai hier soir à la télévision... Mais trêves de bavardages ! Allons admirer ces merveilles volantes ! » finit le père en récupérant ses tickets auprès de l'hôtesse robotisée. Ils franchissent alors le seuil de piste du musée pour entamer ce fabuleux voyage... dans le temps.

~~~

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

Ainsi ces mots inscrits sur l'ornement surplombent la grande porte métallique située juste derrière le guichet central. En empruntant ce passage, Louis et son fils Clément se retrouvent dans la toute première salle du musée, rappelant les grands halls de ces hôtels particuliers. Sur les murs sont présents de nombreuses photographies d'époque, toutes en noir et blanc, venant retracer l'histoire de l'aviation au courant du 20ème siècle. Et, comme un contraste, s'érige en plein milieu de la salle un pilier illustré de nombreux graphiques, vers lesquels nos deux protagonistes se dirigent. C'est alors que le père prend la parole.

« D'après le plan, nous pouvons commencer par nous informer sur quelques chiffres clés afin de mieux comprendre la suite de la visite. Tu peux voir ici les données présentes lorsque j'étais tout jeune, dans les années 2000. Je pense que le plus simple est de regarder cette courbe :

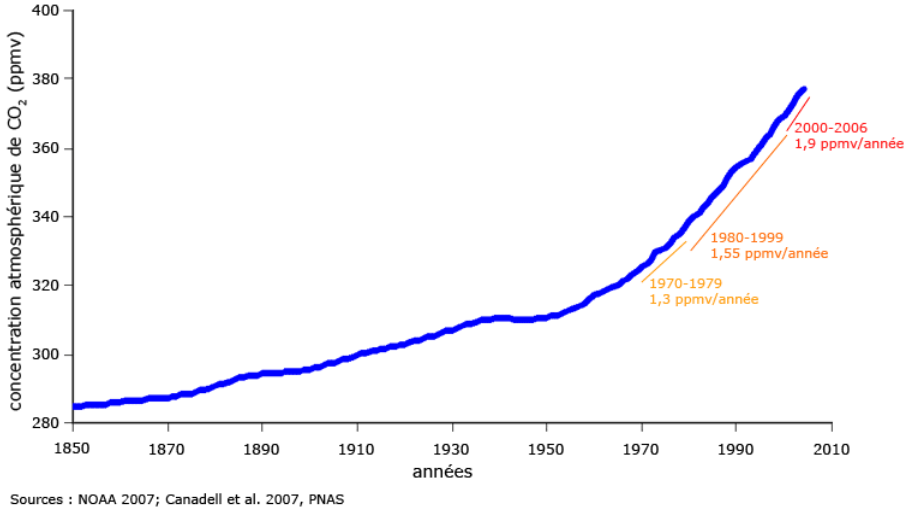


Figure 1 : Concentration atmosphérique de CO_2 du 19ème siècle à aujourd'hui
~~~

Comme tu le vois, les émissions de polluants n'ont cessé d'augmenter depuis le début du 20ème siècle, ce qui est lié à l'industrialisation massive de notre planète. Or, comme tu as pu l'apprendre à l'école, ces rejets polluants sont directement en lien avec le réchauffement climatique et donc sur la santé de notre bonne chère Terre. Comme j'ai pu te le dire avant de rentrer, le monde a également connu une grande crise financière au début des années 2000. C'est la superposition de ces deux contraintes qui a conduit à une refonte de toute l'industrie aéronautique. Ainsi, tout ce que tu vas voir dans ce musée vise à te présenter les différentes innovations, non sans audace, ayant pour un seul but : satisfaire des contraintes économiques et environnementales. Je pense avoir déjà bien discuté du contexte général à l'entrée et te propose de passer dans l'une des premières salles du musée. D'après le guide, tu as le choix entre le parcours civil ou militaire. Lequel préfères-tu ?

- Que ce soit à la télé ou à l'école, on nous parle très souvent du monde aéronautique civil, laissant de côté la partie militaire. Or, d'après ce que j'ai lu dans mon magazine Air&Atmo, le nombre d'appareils militaires n'a cessé d'augmenter sur les cinquante dernières années. Je trouve qu'il est donc dommage de laisser de côté l'industrie de la défense. Que penses-tu de commencer par-là ?

- C'est un très bon choix ! Je ne sais pas si ton livre l'a expliqué ainsi, mais l'augmentation des appareils militaires peut s'interpréter assez facilement. En période de crise économique et sociétaire, les instabilités politiques sont nombreuses, incitant alors les pays à renforcer leurs défenses. Cependant, il faut bien garder en tête que la situation économique ne permet pas aux armées d'acquérir des appareils à prix exorbitants. Comme je te l'ai dit en arrivant au musée, le coût le plus important pour une compagnie ou un pays n'est pas le prix d'achat, mais le montant lié à l'utilisation de l'appareil, regroupant la maintenance, le fuel, l'assurance … Ça tombe bien, la salle dans laquelle nous arrivons présente l'évolution des moteurs équipant les avions de chasse non autonomes (i.e. nécessitant un pilote à bord de l'appareil). »

Cette salle semi-circulaire présente une demi-douzaine de moteurs. À la grande surprise de Clément, ces derniers ne semblent pas si différents les uns des autres. Il cherche alors une explication auprès de son père.

« En effet Clément, tu as raison ! De loin, ces moteurs sont quasiment identiques. Le plus vieux est un Pratt & Whitney F119 équipant le F22 Raptor

dans les années 2000. À cette époque, l'avancée technologique était telle que les rendements généraux des moteurs atteignaient leurs limites. C'est pour cette raison que peu de différences sont visibles avec le plus jeune moteur présent ici équipant les avions de 6ème génération. Comme tu es au courant, l'objectif premier d'un moteur militaire est de fournir une forte puissance. C'est pour cette raison que tu ne vois ici que des moteurs thermiques, les moteurs électriques de puissance étant actuellement à un stade de développement. Or, ils ont besoin de carburant pour fonctionner et par conséquent ils continuent à rejeter des émissions polluantes. Quand on visitera le côté civil, je te parlerai des normes environnementales fixées par les organisations internationales. Or, les avions militaires n'y sont pas soumis. Mais ce n'est pas pour autant que la contrainte environnementale est exclue. En effet, les travaux se sont portés sur la diminution de la consommation spécifique des moteurs afin d'être moins gourmands en carburant. Ceci se traduit non seulement par une diminution des coûts d'opérabilité mais également par une augmentation de la charge utile et du rayon d'action. Tu peux aussi te rendre compte que les moteurs tendent à grossir très légèrement au fil des années. Ceci s'explique par une volonté d'augmenter le taux de dilution et par conséquent d'agrandir la surface d'entrée du flux secondaire. Or, la carène du moteur servant généralement de fuselage, il est impossible d'augmenter son diamètre de manière trop importante au risque de ne pas avoir assez de place sous l'aile.

- Si je comprends bien, les innovations les plus importantes au courant de ces trente dernières années ne se produisent pas du côté du moteur, c'est bien ça ?

- Tu as tout compris. Si tu veux voir des changements, suis-moi dans la deuxième pièce où sont exposés plusieurs avions de chasse ! »

Clément et Louis s'introduisent ainsi dans un vaste hangar, où sont présents de nombreux avions de chasse non autonomes. Dès le socle, il est possible d'avoir un visuel sur une bonne dizaine d'aéronefs. Clément semble stupéfait des différentes géométries présentent devant lui.

« Les avions de chasse étaient si gros que ça ? s'interroge-t-il devant l'Eurofighter Typhoon.

- Il faut bien comprendre que la stratégie des années 2000 était bien différente de celle que nous connaissons actuellement. À l'époque, l'objectif

premier des avions de chasse était de pouvoir pallier à une menace (avion ennemi ou missile) à très grande vitesse. Ainsi, des appareils de types interception ont vu le jour. Ces derniers possédaient une très forte puissance et pouvaient atteindre Mach 2 rapidement. Malheureusement, qui dit forte puissance dit forte consommation, ce qui se traduisait le plus souvent par d'importantes émissions polluantes et un rayon d'action assez faible. Puis, l'apparition des missiles à longue portée additionnée aux contraintes économiques dont je t'ai parlées ont changé la mission première d'un avion de chasse. En effet, nous connaissons aujourd'hui des appareils de type pénétration. Ces derniers ont la capacité de voler à basse altitude sur une distance assez importante et ainsi pouvoir s'introduire dans des espaces surveillés. Il a donc fallu modifier la géométrie générale de ces aéronefs.

- Alors laisse-moi deviner… Le fait qu'ils soient de plus en plus petits s'explique par la volonté de ne pas être détecté par les radars ennemis. Je pense même qu'un appareil de faible taille possède une surface frontale moindre et donc une trainée diminuée. Ce qui permet d'avoir de meilleurs rendements généraux et ainsi de diminuer la consommation. À cette volonté d'améliorer la discrétion s'ajoute la diminution du bruit des avions. Comme tu le disais lorsque nous achetions les tickets, la nuisance sonore est une contrainte environnementale fortement prise en compte par le domaine militaire.

- Encore une fois, tu as tout compris. Tu peux t'imaginer que toute cette innovation à un coût, et pas de moindre ampleur. Oui, ceci va à l'encontre de mes propos précédents relatifs au contexte économique difficile… Mais c'était un pari sur l'avenir à faire. Toutes ces améliorations ont permis de venir accroître les rendements généraux et ainsi diminuer le coût d'utilisation des appareils. Mais ces résultats ne seront visibles que dans quinze ou vingt ans. Il n'est donc pas imaginable pour un pays d'investir un si gros budget. C'est la raison pour laquelle les avions militaires actuels sont, pour la grande majorité, des projets internationaux. Ceci permet de diviser le coût d'investissement entre plusieurs pays. L'inconvénient en lien avec la défense, c'est que chaque pays veut garder ses secrets de fabrication et ne pas dévoiler aux autres la technicité des appareils qu'il possède. Dès lors, chaque entité peut venir modifier une partie de l'aéronef pour pouvoir se démarquer : la construction modulaire a ainsi pris toute son importance.

- Un pays lambda a donc la possibilité d'acheter un appareil et venir modifier à sa façon une partie de ses équipements comme par exemple le

système d'armement. Ce n'est pas bête ! Le budget recherche est donc bien moindre que pour la création d'un avion complet, tout en gardant une spécificité propre au pays et dont les autres n'ont pas connaissance… »

Nos deux personnages arrivent désormais au bout du hangar dans lequel ils circulent. S'apprêtant à passer dans la pièce qui suit, Louis reprend la parole :

« La suite logique de la diminution de taille des appareils militaires se situe dans la salle suivante. Tu l'auras compris, nous allons passer aux drones. C'est sur ce type d'avions que les progrès les plus importants ont été faits depuis les années 2000. Quand j'avais ton âge, ils apparaissaient aux yeux des gens comme des appareils tout droit sortis de films de science-fiction. Puis, d'années en années ils ont fait leurs preuves, que ce soit dans la reconnaissance, le sauvetage, l'extinction de feux de forêt… Si bien qu'aujourd'hui, ils sont indispensables ! La faible taille des drones permet de pouvoir se contenter d'un moteur à faible puissance. Il est donc judicieux de s'équiper d'un système propulsif électrique. Aucun rejet de gaz polluant, et une émission sonore drastiquement diminuée ! Tu peux ainsi te rendre compte que dans l'industrie militaire, il est très rare que les contraintes environnementales viennent imposer une modification des appareils. C'est surtout le côté économique qui, allant de pair avec une diminution des consommations, permet de gagner des points sur l'impact environnemental.

- Je suis bien d'accord avec toi papa, mais ne brûlons pas les étapes. Même si les contraintes environnementales n'ont pas eu d'impact majeur sur la conception des aéronefs militaires, elles ont eu un rôle sur toute l'industrie aéronautique située en amont. Prenons l'exemple des drones électriques. J'ai vu en cours que les premiers étaient équipés de batterie de type Li-ion. Or, ces dernières nécessitent la présence de matières très nocives pour l'environnement et posent de gros problèmes en fin de vie, pour le recyclage des batteries. C'est l'une des raisons qui a poussé l'industrie aéronautique à réfléchir à un autre mode de propulsion électrique. Et c'est ainsi que la pile à combustible aujourd'hui utilisée a pris toute son ampleur. Certes, la production d'hydrogène nécessaire pour la pile à combustible rejette des émissions polluantes mais moindres. En effet, cette production demande un fort besoin en électricité pour dissocier la molécule d'eau H2O et ainsi récolter l'hydrogène. C'est l'une des raisons qui a poussé les autorités à produire l'hydrogène en période où la consommation d'électricité est plus faible que la production. Ceci permet dans un premier temps d'éviter les pertes et ainsi de venir améliorer le bilan économique de la chaine globale.

- En effet, je n'avais pas pensé à cet aspect-là. Tu as bien raison de me rappeler que l'industrie aéronautique ne regroupe pas seulement les aéronefs mais tout ce qui gravite autour. Et ton exemple sur les piles à combustible est excellent ! D'autant plus que ce système est une petite révolution dans le monde militaire. L'autonomie des drones équipés de ces piles peut s'exprimer non pas en heures mais en jours ! Si bien qu'aujourd'hui, il est possible de parcourir de très longues distances avec ces aéronefs, tant pour des missions d'observation que de destruction de cibles. Et ceci s'est avéré être un avantage considérable d'un point de vue économique. Prenons l'exemple des porte-avions, qui, à mon époque, coûtaient une somme colossale aux états ! Et bien aujourd'hui les avions peuvent décoller depuis le sol sans avoir recours à ces navires immenses. Ainsi l'état Français a vendu son unique porte-avion il y a un peu plus de 5 ans. Un budget en moins pour la défense ! »

Sur ces mots, la petite famille longe les murs du couloir pour retourner au point de départ.

« Si tu n'as pas de questions supplémentaires, nous pouvons découvrir ces fameux avions civils, propose Louis à son fils. C'est pour ma part un vrai plaisir de te présenter l'évolution de l'aéronautique depuis ma jeunesse jusqu'à la tienne. La première salle mentionne les projets incrémentaux des géants Boeing et Airbus.

- Qu'est-ce qu'un projet « incrémentaux » ?

- Ta faute de français me fait sourire mon fils ! Un projet incrémental désigne un nouveau projet s'appuyant grandement sur un précédent. Regarde ces maquettes. Que constates-tu ?

- Hum… Elles semblent toutes identiques par paires !

- En effet. L'A320neo est un projet incrémentale de l'A320, le B737MAX du B737, l'A330neo de l'A330, l'A380neo de l'A380… C'est d'ailleurs un A380neo que tu as pris pour aller voir tes grands-parents au Japon l'été dernier. Comme tu t'en doutes, le développement d'un nouvel avion coûte très cher. Il faut une bonne dizaine d'années et des milliards d'euros d'investissement. Si pour des raisons de retard, des problèmes de conception ou une situation économique instable les clients n'achètent pas l'avion, la société risque de couler ! Or comme je t'expliquais tout à l'heure, les années

2000 n'auguraient rien de bon en termes de situation économique pour l'Europe et les États-Unis. Les deux géants Airbus et Boeing ne pouvaient donc risquer de se lancer dans la naissance d'un nouveau projet. Et tandis que les compagnies aériennes étaient satisfaites de ces avions, la seule raison qui pouvaient les pousser à acheter consistaient à fabriquer les mêmes avions, mais plus économe en consommation de carburant.

C'est pourquoi tu constates de nouveaux moteurs, des profils d'ailes améliorés surtout sur l'A330neo et l'A380neo, des sharklets sur l'A320 et A320neo…

- Ah c'est pour ça qu'il y a des dents de requins sur le fuselage ! Mais je ne vois aucune différence concernant les moteurs !

Figure 2 : Premier A320 équipé de Sharklets

- Eh bien oui ! Le motoriste et l'avionneur sont tous deux très liés ! Si l'un fait un projet incrémental, l'autre se doit de le suivre. C'est pourquoi les moteurs Leap sont une évolution des moteurs CFM56. À la différence du domaine militaire, à l'époque il était encore possible d'augmenter les taux de dilution des moteurs des avions civils. Ainsi des gains de près de 15-20% étaient obtenus en termes de consommation carburant. Mais dans les années 2020, on ne pouvait plus utiliser le taux de dilution comme levier. En effet, il fallait augmenter la taille sous ailes. Ceci n'était possible qu'en remontant les ailes ou en augmentant la taille des trains d'atterrissage. Cette dernière possibilité aurait entraîné des efforts plus importants à encaisser et des contraintes structurelles importantes… Bref les limites de l'incrémentation étaient atteintes ! C'est ce qui a poussé les avionneurs à s'orienter vers de nouveaux projets…. Et nous vers la salle suivante.

À peine entrés dans la salle, la bouche du petit Louis démontre son ébahissement face à toutes ces maquettes d'avions futuristes, toutes plus belles les unes que les autres.

Figure 3 : A323 aujourd'hui en phase d'assemblage

« Regarde papa ! C'est l'A323 ! Celui qu'on a vu hier à la télévision ! s'extasie Clément. Les hélices semblent de retour en matière de propulsion !

- Tu mets le doigt sur quelque chose ! Ce sont des open-rotors. Cette technologie allie les bienfaits des hélices et des turboréacteurs. Cette idée date des années 1980 mais n'avait pas vu le jour plus tôt du fait des contraintes technologiques de l'époque. Aujourd'hui, en 2030, nos outils ont permis de surpasser ces problèmes et de donner une vie possible à ce type de moteur. Cependant, les hélices ne passent pas sous les ailes. Il a fallu tout repenser. D'où la naissance d'un nouveau projet. Ainsi, on a la possibilité de jouer de nouveau sur le taux de dilution et ainsi de diminuer drastiquement la consommation carburant. Ce graphique démontre les avantages de la rupture technologique pour jouer sur le taux de dilution.

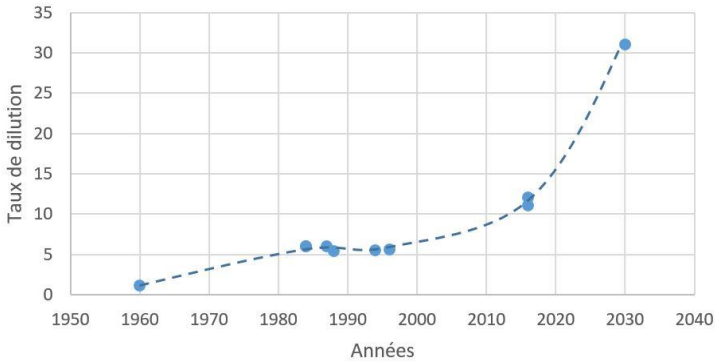


Figure 4 : Évolution des taux de dilution des moteurs d'A320 et B737

Cependant, les hélices contrarotatives des open-rotors sont très bruyantes et ont posé beaucoup de problèmes aux ingénieurs. C'est d'ailleurs toujours le cas, principalement au décollage. A régime maximum, les hélices restent trop bruyantes malgré les progrès réalisés. Lorsque cet avion entrera en service, les pilotes devront mettre les gaz et le calage des pales à un point particulier pour éviter de dépasser les normes acoustiques en vigueur. Pour la petite histoire, Airbus a décidé de l'appeler de cette manière car il est le successeur de l'A320.

- Est-ce qu'il vole déjà ?

- Ah non pas du tout ! La construction du premier exemplaire n'est pas terminée. Dans ce genre de projet, il ne faut pas brûler les étapes sous risque d'entraîner des retards importants lors de la phase d'essais. Or les retards en aéronautique coûtent très chers ! Et comme à chaque fois, dès que l'un des

géants lance un projet, l'autre réplique dans les années qui suivent… Boeing également souhaite faire une rupture technologique pour obtenir des résultats concluants…

- En parlant de concurrence, que deviennent Comac, le Cseries de Bombardier et le Superjet100 De Sukhoi ?

- Sukhoi ne s'en est pas sorti. Un crash avait eu lieu à leurs débuts, ils ont eu du mal à s'en remettre avant d'arrêter la production de leurs avions courant 2020. Le Cseries n'a pas su prendre sa place sur le marché face aux américains, européens et les chinois… les plus grandes puissances du monde de l'époque. Beaucoup pensaient que c'était la dernière chance pour Bombardier et que sans cela, la partie Aerospace arrêterait ses activités. Fort heureusement non, ils ont travaillé sur une remotorisation de leur succès, la famille CRJ. Ainsi ils ont obtenu des records en termes de consommation face à leurs concurrents équipés de turboréacteurs. Les remotorisations étaient rares sur le marché des court-courriers. Mais c'était la raison de leur défaite sur le territoire des géants. Ils en ont tiré une leçon et ont été les premiers à instaurer ceci. Une salle dédiée à ces court-courriers se trouve un peu plus loin. Quant aux chinois…

- Ils n'ont ni perdu, ni gagné ! s'exclame Clément. Leur Comac s'est principalement développé en Chine dans les années 2020 mais le produit ne s'est pas exporté. Bien que la Chine soit aujourd'hui encore une superpuissance notamment en termes d'exploitation aéronautique, le grand nombre de Comac acheté a permis de faire survivre l'avionneur. En ce moment, ils travaillent sur un nouveau projet, mais cela reste confidentiel. C'est un professeur d'Airbus qui nous en a parlé… Comme quoi, Airbus considère Comac comme un vrai concurrent aujourd'hui !

- Oui si le Comac a su subsister c'est en grande partie parce qu'il a des origines chinoises et que la Chine est un pays très puissant économiquement et démographiquement. De plus en plus de voyageurs se déplacent, impliquant un besoin croissant du nombre d'avions. Fidèles à leurs racines, beaucoup de compagnies aériennes chinoises se sont lancées dans l'aventure Comac !

Sur ces paroles du Comac, nos deux protagonistes avancent vers la salle suivante. En lien avec les nouveaux projets, elle présente les nouvelles sources d'énergie à exploiter en aéronautique.

- Approche-toi de cette affiche. Elle montre d'où vient l'énergie à bord de l'avion : Principalement des moteurs. Si on supprime les prélèvements d'énergie sur le moteur, malgré quelques modifications sur les marges de sécurité du pompage on pourrait donc le consacrer entièrement à la poussée et diminuer la consommation n'est-ce pas ? C'est pourquoi aujourd'hui, on cherche à créer de l'électricité à bord sans les moteurs.

- Pourquoi ne pas fixer une éolienne sur l'avion ? ironise Clément, avec une pointe de vérité.

- Bien sûr, sourit Louis. Une idée plus plausible est d'exploiter l'électricité statique créée par le frottement de l'air avec le fuselage. Des ingénieurs se creusent la tête pour récupérer cette énergie et l'utiliser à bord.

- Pourrait-on aussi utiliser le soleil ?

- Oui quelques projets ont été réfléchis pour créer de l'électricité avec les panneaux solaires. L'idée est prometteuse et a été testée par Boeing sur un 747 récemment. En voici une maquette, dit Louis en la pointant du doigt. Ils avaient mis un panneau solaire sur le haut du fuselage et avait réussi à alimenter l'éclairage de la cabine ! En améliorant le rendement de ces panneaux et en modifiant leur forme, on pourrait parvenir à des résultats encore plus concluants. Les principaux investisseurs de cette technologie sont les pays du Moyen-Orient. En effet, les riches producteurs de pétrole savent que cette ressource touche à sa fin. Ils souhaitent maintenant tirer profit d'un autre cadeau que leur a fait la nature : le soleil. Il pousse donc leurs ingénieurs à trouver des technologies permettant de donner un nouvel air à ces pays. »

Toujours à l'écoute de son père, Clément s'avance dans un coin de la salle où sont disposées des fioles de différentes couleurs. Intrigué, il demande à son père ce qu'elles contiennent.

« Ce sont divers types de carburants. Aujourd'hui, les ingénieurs motoristes sont parvenus à exploiter des carburants composés à 50% de kérosène Jet A1 et 50% de bio-carburants synthétisés à partir d'algues ! On en utilise donc aussi bien pour l'aéronautique civile que pour les hélicoptères. Comme je disais, le kérosène tend sur sa fin et on pense depuis longtemps à le remplacer. En effet, il faut quelque chose qui coûte moins cher, qui soit peu consommable par le moteur et surtout qui rejette peu de gaz à effet de serre… Tous ces critères étant opposés, la tâche n'est pas facile. Mais ces algues sont

quasi neutres en rejet de CO_2. En effet, elles absorbent presque autant de CO_2 au cours de leur développement qu'elles en rejettent une fois brûlées. Rien qu'avec ce rapport d'1/2 entre kérosène et biocarburant, on a diminué de 40% les rejets dans l'atmosphère ! Ce qui ravit les compagnies aériennes. Et par conséquent toi aussi ! Le billet revient moins cher au consommateur. Malgré tout, cette technologie reste récente. De plus, l'algue n'est pas produite au même endroit que le kérosène, des processus et trajets supplémentaires sont nécessaires…. Ainsi tous les aéroports n'en sont pas encore équipés. Mais ça devrait l'être dans les cinq prochaines années d'après cette affiche.

- C'est assez effrayant de penser qu'on fait du carburant avec des algues alors qu'on en mange au Japon !

- Hum vu sous cet angle…

- Ils mentionnent également la pile à combustible sur cette affiche, dit Clément en s'orientant vers le coin opposé de la salle. Cela semble fidèle à la réalité. L'autonomie et la puissance développée par ces piles ne permettent pas encore d'alimenter une propulsion d'un aéronef civil. Elle est seulement utilisée dans l'aviation de tourisme. La semaine dernière, j'ai eu l'occasion de voler sur un des cinq avions de l'aérodrome équipés de cette technologie. Nous avons fait une checklist approfondie et mon instructeur m'a montré tous les dessous du moteur… C'était impressionnant !

- Oui je n'ai pas encore eu l'occasion de voler dans ce type d'avion… Tu m'emmèneras la prochaine fois !

- Si tu paies le trajet ! plaisante Clément alors qu'ils se dirigent vers un ascenseur. Je repense à ces dessins de requin sur l'A320. D'après mes cours de biologie, un requin possède une peau particulière permettant un glissement de l'eau et une diminution de sa trainée. Peut-être pourrions-nous appliquer cette même technologie sur nos avions ? La fabrication d'un revêtement similaire pourrait favoriser le glissement de l'air, diminuer la trainée et avoir un impact positif sur la consommation ? »

Le père, agréablement surpris par cette réplique sortant de la bouche de son fils répond :

- Cette idée est brillante ! Je ne sais pas si elle est applicable puisque les densités de l'air et de l'eau sont très différentes mais c'est ce genre d'approche

qui permet de faire des avancées technologiques. On analyse l'existant dans la nature et on essaie de l'utiliser à bon escient. C'est en observant les oiseaux qu'on a appris à voler après tout… » continue Louis aux côtés de Clément et se dirigeant vers une sorte de tube en verre.

« Premier étage ! » dit Louis de sa voix la plus claire possible. C'est alors qu'une aspiration provoque l'ascension de ce tube transportant nos deux personnages à l'étage supérieur. L'aspiration diminue jusqu'à ce que l'ouverture du tube concorde avec celle du premier étage. Une fois sortis de cet ascenseur, ils se dirigent vers la salle suivante. Celle-ci aborde la situation des court-courriers. Au milieu de la salle se trouve un modèle de l'avion emblématique de chacun des avionneurs : ATR, Embraer, Bombardier mais aussi Mitsubichi. Ce constructeur japonais a finalement réussi à se faire une place sur le marché malgré ses retards. Un stand est également dédié au très attendu futur nouveau-né d'INDICA. Statuant pour « INDIan Corporation for Aeronautics », la puissance économique en plein boom des pays indiens leur a permis de se lancer dans la course aéronautique. Contrairement aux chinois, ils préfèrent débuter sur le domaine des court-courriers. Mais c'est la remotorisation du Bombardier qui attire avant tout l'attention de Clément.

« Voici le CRJ remotorisé dont tu m'as parlé tout à l'heure. Ce sont des open-rotors qui l'équipent ! Tu as raison, Bombardier a réellement su tirer profit d'une remotorisation de leur avion. De plus, ils ont su tirer profit de la géométrie du CRJ ! En effet, les moteurs situés sur la partie arrière du fuselage peuvent ainsi facilement être remplacés par des open-rotors sans pour autant nécessiter de gros investissements. J'espère que cela leur permettra de remonter la pente suite au Cseries…

- C'est ainsi qu'on retrouve les trois types de motorisation dans l'aviation des court-courriers : les turboréacteurs, les open-rotors et les turbopropulseurs d'ATR remarque très justement Louis. À mon époque, ATR avait une place importante sur le marché des avions court-courriers grâce à leurs turbopropulseurs. Cette technologie permettait d'obtenir une faible consommation grâce à un fort taux de dilution. Aujourd'hui, ils restent fidèles à leur marque de fabrique. Leur nouvel appareil ATR-92 a fait son premier vol il y a quelques mois. Ceci leur permettra d'augmenter l'emport de passagers et de rivaliser directement avec les grands des court-courriers tels qu'Embraer et Bombardier. Ce projet sera assez révélateur afin de savoir si les turbopropulseurs garderont leur supériorité face à ces turboréacteurs au maximum de leurs performances.

- Voilà un petit passage sur l'aviation d'affaire ! Mais ils n'en disent pas beaucoup quant à l'environnement. Il est vrai qu'aucun nouveau projet d'envergure n'a été lancé, puisque les utilisateurs de ces avions sont souvent très riches. Ils n'ont pas de besoin particulier. Les avionneurs investissent principalement dans le confort et tout ce qui satisfera le client. Malgré tout, il me semble que de par les contraintes des autorités, ils utilisent également un carburant coupé aux algues… tu demanderas à ton ami chez Dassault FalconJet. »

Soudain, tandis qu'ils se dirigent vers la salle suivante, un drone quadri-rotors transportant une trousse de secours traverse le couloir du musée à grande vitesse. Le père et son fils surpris et inquiets constatent que le drone ralentit et atterrit aux côtés d'une équipe de secours affairée auprès d'une personne au sol.

« Quelqu'un a fait un malaise, s'inquiète Louis. Ces drones automatisés sont d'un vrai secours ! Ils permettent de déplacer tout le matériel nécessaire d'un point à un autre du musée en un rien de temps ! Tu as une démonstration concrète de leur nécessité aujourd'hui! Malgré tout, je préfère ne pas avoir besoin d'eux. Marchons vers la salle suivante et laissons cette équipe médicale faire son travail. »

Suite à cet incident, voilà que Louis et Clément entrent dans un espace intitulé « Les aéroports d'aujourd'hui ».

« Les décollages et roulages sont des phases très polluantes lors d'un vol. Elles exposent donc les aéroports à de fortes concentrations de particules polluantes. Dans le même temps, ces derniers doivent continuellement évoluer pour pouvoir faire face à la croissance du trafic aérien. Mais s'ils ne respectent pas les limites de pollution, ceci leur est interdit. En ce moment, des études sont en cours pour faire revivre l'ère des hydravions. Aucun aéroport terrestre ne serait nécessaire et il n'y aurait pas de limites d'espace dues à la pollution. Mais ce n'est encore qu'à l'étude. Quand j'étais jeune, les environs d'un aéroport pouvaient parfois sentir le kérosène en fonction du vent… même si personnellement l'odeur me plaisait... Que disent-ils à ce sujet? » se demande le père en mettant ces lunettes sur son nez et s'approchant d'une notice explicative.

« Au début de l'aéronautique, un des objectifs principaux était de rendre l'avion complétement autonome et capable de se déplacer par lui-même. Cependant, sur des aéroports très congestionnés tels que Londres, plusieurs tonnes de carburant étaient consommées inutilement au sol. C'est alors qu'a été développé l'EGTS comme l'indique cette vidéo sur l'écran 3D au fond de la salle. Au cours de ma dernière année d'étude, nous avions réalisé un projet sur ce sujet et avions démontré et quantifié les bienfaits de cette technologie. Aujourd'hui, tous les avions sortant de production aussi bien des usines d'Airbus, de Boeing ou des plus petits avionneurs tels que Comac ou Embraer sont équipés de ces petits moteurs électriques. Des tonnes et des tonnes de carburant et de gaz à effet de serre sont économisées… Malgré tout, des rejets ont lieu à travers l'APU, le moteur en aval de l'avion. Il me semble que des projets sont en cours pour éliminer drastiquement cette consommation… Ah voici une maquette animée représentant un aéroport miniature. Il est doté de rails alimentant les avions en électricité par un crochet. Ainsi les avions roulent sans rejet de carburant ! Mais cette technologie pose des problèmes en termes de sécurité et d'équipement dans les aéroports. Tous ne pourront en être équipés contenu des moyens d'investissement » affirme Louis. Son visage se tourne alors vers un tableau fixé aux côtés de la maquette. Il affiche en lettres lumineuses « Vers un aéroport propre ».

« Ce slogan semble sorti tout droit des années 2000, dit Louis. Je me souviens encore cette envie de faire des gestes écologiques mais qu'en parallèle nous n'étions même pas capables de trier nos déchets…

Ces aéroports semblent malgré tout avoir une chance dans cette voie, continue Clément. Ils sont tous dotés de panneaux solaires. Comme le montre cette photo de l'aéroport d'Incheon en Corée, leur grande toiture le leur permet et cela subvient à près de 60% de la consommation de l'aéroport ! » Clément parcourt alors l'explication associée à la maquette. « D'après ce paragraphe, les aéroports du monde entier doivent payer des taxes si la somme de leurs émissions de gaz dépasse un certain seuil. Cette idée fut lancée lors de la COP21 en 2015… Jamais entendu parler.

Figure 5 : Aéroport d'Incheon en Corée recouvert de panneaux solaires

- Tu étais trop jeune voyons. Au fur et à mesure des années, les aéroports étaient donc forcer à diminuer leurs rejets de gaz à effet de serre. Les exigences et taxes variaient en fonction du niveau des pays. Ainsi, on a commencé à voir au sein des aéroports l'apparition de bus 100% électriques, de voiturettes électriques… Je serai curieux de savoir comment leur batterie se recharge : grâce à leurs panneaux solaires, la centrale nucléaire du coin ou à l'aide d'une pile à combustible ?

- Ça n'a pas l'air d'être précisé… Mais je suppose que ce sont des batteries rechargées par l'électricité produite ou reçue de l'extérieur. » termine Clément en se dirigeant vers la salle suivante. « Oh regarde ! Une machine à impression 3D ! Elle est beaucoup plus grosse que celle de la maison !

- Eh bien oui, on ne fabrique pas des aubes de compresseurs à la maison mon cher !

- On a beaucoup parlé de cette technologie de fabrication à l'école. Aujourd'hui, près de 50% des pièces aéronautiques sont fabriquées grâce à ce procédé, et la tendance augmente encore ! Les ingénieurs ont apparemment trouvé des méthodes pour fabriquer des objets dans différents types de matériaux. D'après l'affichage tactile, des essais sont en cours pour tester la résistance des aubes de turbine fabriquées par ce procédé.

- Il est vrai qu'une fois que nous maitriserons cette technologie à la perfection, de gros gains économiques mais aussi écologiques seront possibles. Les fours de mon époque nécessaires au moulage des aubes consommaient bien plus d'énergie qu'une simple imprimante d'aujourd'hui.

- Oh que oui… Regarde une éolienne ! Sais-tu pourquoi elle est ici ?

- Euh… Non, tu me poses une colle, et je ne vois pas d'indication » dit Louis en tournant sur lui-même à la recherche d'une pancarte. C'est alors qu'une voix s'élève à leurs côtés.

« Les départements d'aérodynamique ont développé des compétences sur les profils d'aubes et d'hélices. Plutôt que de lancer des appels d'offres pour des éoliennes dimensionnées à leur besoin et installables dans l'enceinte de l'entreprise,

Figure 6 : Usine Rolls-Royce à Derby (UK), 1ère à développer les « homemade-windmilling » en 2025

les employés ont développé eux-mêmes leur propre éolienne. La technologie est certes différente d'un moteur, mais les compétences des ingénieurs sont similaires. Ainsi quelques éoliennes, à plus faible altitude et plus faible diamètre bien sûr, ont été installées au sein même de leurs locaux. L'initiative fût lancée par Rolls-Royce en 2025. Puis Snecma et GE ont suivi dans le cadre de leur consortium CFM et enfin ceci s'est répandu aux autres grandes entreprises aéronautiques. Ai-je répondu à votre question ? Interroge la voix.

- Euh… Oui » répond Louis surpris du haut niveau de technologie de ce musée. Ils se dirigent alors vers la salle suivante et le père continu :

« Sais-tu que les compagnies aériennes ont également un rôle à jouer dans la lutte contre la consommation ?

- Je n'en doute pas puisqu'elles sont les premières à être touchées.

- Je me souviens qu'au milieu des années 2020, alors qu'aucun projet nouveau n'était lancé de la part des avionneurs, l'une des solutions pour les compagnies aériennes étaient d'exploiter leurs avions existants à plus faible régime. C'est exactement comme une voiture. Sur autoroute, si tu roules 10-20km/h en dessous de la limite autorisée, la consommation est diminuée. Même si tu roules plus longtemps, au final, un gain persiste. Des difficultés avaient eu lieu à cause de la gestion du trafic ATM, mais des solutions d'optimisation ont été trouvées. Ainsi, au lieu de relier Paris et New York en 8h, le vol durait 9-10h, soit une perte de près de 25%. Mais le gain en consommation était important. Une étude a été réalisée et a démontré que les passagers préfèrent payer un peu moins, et perdre 1h de trajet. De plus, on leur vend le fait qu'ils font un geste pour la planète… Mais en réalité, l'écologie n'est pas la priorité des compagnies aériennes… Ni des passagers.

- En parallèle, je sais qu'un logiciel a été développé pour déterminer en amont du vol, le parcours idéal en fonction des prévisions météorologiques. Ainsi les pilotes, en accord avec les tours de contrôle, peuvent modifier leur trajet pour avoir des vents favorables, ou le moins défavorables possible. Cette technologie est récente mais les résultats sont concluants…

- Et nous voilà dans la salle tant attendue. » dit Louis interrompant son fils.

Une fois entrés dans cette salle, les yeux de Clément commencent à scintiller telles des étoiles. Ils viennent de rentrer dans la salle présentant les vols supersoniques et leur potentiel à venir.

« C'est un concorde n'est-ce pas ? demande Clément.

- Oui… Le plus bel avion jamais réalisé. C'est à mes yeux l'une des plus grandes réussites de l'homme, bien mieux encore que ce qui sort des usines aujourd'hui. Les ingénieurs de l'époque, équipés d'un simple crayon à papier, d'une gomme et d'une règle à calculer ont été capables de transporter des gens à Mach 2.02 pendant près de trente ans… Et dans les quelques prochaines années, un prochain supersonique risque de voir le jour.

- On en parle depuis des années de cet avion. Cela fait plus de vingt ans que des études ont lieu, mais il n'y a toujours rien de concret quant à sa réalisation. C'est bien celui-ci ? dit Clément en montrant les photos suivantes :

Figure 7 : LAPCAT2 au décollage

Figure 8 : LAPCAT2 comparé au géant A380

- Oui c'est le projet LAPCAT2. À mon époque aussi tout le monde en parlait. Mais figure-toi que des avancées ont lieu ! Certaines parties de l'avion ont été construites un peu partout dans les usines participantes au projet. Mais il est vrai qu'il y a beaucoup de retard. Surtout sur un projet de ce genre ! Ce n'est pas le premier à avoir été lancé depuis le Concorde mais il reste le premier à avoir été aussi loin. D'après ces planches, il devrait entrer en exploitation d'ici la fin de la décennie. En tout cas, je trouve que cet hologramme ne le met pas en valeur, dit Louis d'un mouvement de tête vers l'image en question.

- Moi je le trouve beau cet avion, et très grand ! Cette comparaison avec l'A380 est très parlante. Et ses lignes sont très bien dessinées, de belles courbes allongées, avec quatre énormes réacteurs…

- Ah mais tu n'as pas connu le Concorde… » dit son père en rêvant et en se souvenant sortir de chez lui lorsqu'il entendait le concorde voler dans les alentours. « La belle époque ! »

Puis tous deux continuent leur visite jusqu'à la salle suivante. Celle-ci a une atmosphère assez lugubre et sombre… C'est le cimetière des avions.

« Brrr, c'est moi ou il fait plus froid ici ? dit Clément en claquant des dents.

- Oui, c'est pour appuyer le décor. Cette salle reste malgré tout importante. Une fois un avion totalement à la retraite, celui-ci ne peut plus voler et est envoyé dans ce qu'on appelle un cimetière d'avions. Lorsque nous ne prenions pas en compte l'aspect environnemental, ils étaient délaissés, promis à un avenir triste et solitaire. Aujourd'hui, ils passent systématiquement dans une usine de récupération. Ici, l'avion est démantelé dans sa totalité. Toutes les pièces encore utilisables ou facilement réparables sont récupérées. Celles au contraire ayant emmagasiné trop d'années, sont rebutées et triées suivant leur matériau. Ainsi, elles sont refondues et peuvent avoir une deuxième vie, dans l'aéronautique ou non. En France, chaque mois a lieu une sorte de brocante géante où un grand nombre d'industriels trouve son bonheur. Ce sont principalement des petites entreprises qui viennent car elles ont moins de moyens et ces matériaux leur sont plus accessibles. Les bénéfices permettent ensuite de maintenir ce processus de recyclage.

- C'est un processus intelligent, mais encore très jeune il me semble… Ceci ne s'est développé qu'il y a trois à cinq ans. La forte augmentation du nombre d'avions et donc d'avions envoyés au cimetière n'engendrerait pas une saturation de leurs activités ? Je pense qu'il leur faut faire attention à cette possibilité…

Sur ces mots, ils se dirigent vers la salle suivante. À l'entrée, une hôtesse robotisée semble donner des informations aux visiteurs :

« Le musée s'excuse de ne pouvoir vous présenter la salle sur le domaine spatiale. Celle-ci est en travaux afin de vous offrir un spectacle toujours plus beau dans les prochains jours. »

- Oh non c'est fermé ! s'exclame Clément. Je voulais pourtant voir ce qu'il en était de la mission spatiale sur Mars !

- Ne t'inquiète pas, nous pourrons toujours revenir. Et il nous reste encore le meilleur à voir.

C'est ainsi qu'ils se dirigent tous deux vers la terrasse. Un panorama hors du commun leur permet d'admirer tous les aéronefs entreposés. Des dizaines d'avions ayant marqué l'histoire de l'aéronautique sont présents. On y découvre un A380 dans un coin, un A350 nez à nez avec un B787 pour le symbole, une fusée Ariane au loin, le B747, habitué du Bourget depuis son arrivée en 2000… et juste en face de nos deux personnages, se trouve l'immanquable Concorde. Louis se tourne vers son fils et dit « Prêt pour terminer cette visite en beauté ? ». Clément dévale les escaliers donnant accès au tarmac. Son père le suit autant qu'il peut malgré les années qui le ralentissent. Une fois en bas, sous ce soleil radieux, nos deux amoureux de l'aéronautique s'en vont sur ce tarmac brûlant se perdre dans une forêt d'avions.

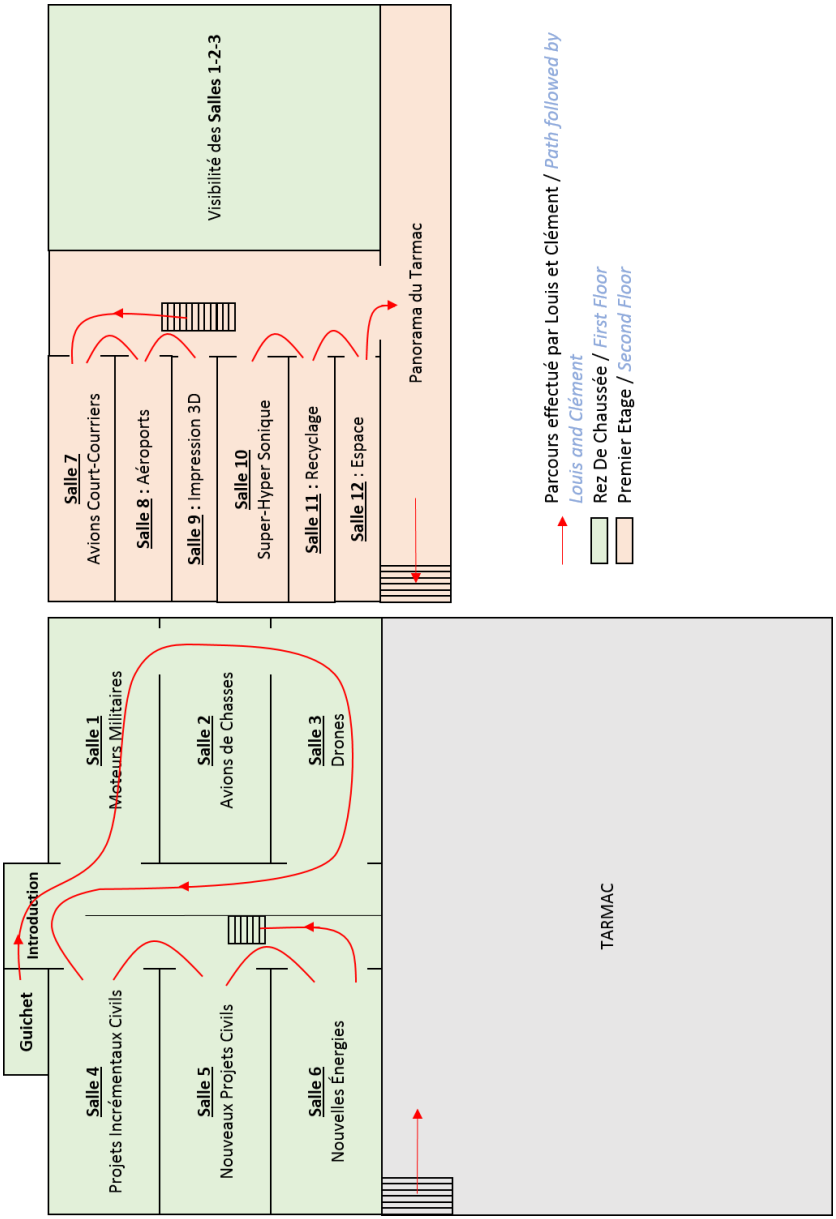


Figure 9 : Plan du Musée de l'Air et de l'Espace en 2030

Quatrième Prix

Agathe DOUCET et Victor DESCHAMPS

ESDES & Ecole des Mines d'Alès

"Agathe Doucet et Victor Deschamps vous présentent leur vision du sujet de l'USAIRE Student Award 2015.

Agathe est en master 2, spécialisation Achats Internationaux à l'ESDES, école de Commerce et de Management à Lyon. Actuellement, elle étudie en Corée du Sud à l'Université d'Hanyang à Séoul où elle rédige son mémoire sur le thème de « la sécurité et les conséquences de l'espionnage du service achats sur la performance de l'entreprise ».

Victor est actuellement étudiant à l'école des Mines d'Alès au sein du département mécanique et matériaux, et effectue sa dernière année à l'IFMA de Clermont-Ferrand dans le but de se spécialiser en mécanique de précision. Sa formation généraliste lui a permis d'effectuer des stages dans des domaines très différents tels que l'aéronautique, la défense, la métallurgie, l'automobile et l'ingénierie du bâtiment.

Les connaissances du secteur de la défense pour l'une et la passion de l'aéronautique et l'aérospatial pour l'autre nous ont permis de former une équipe complémentaire. Participer à ce concours a été à la fois une expérience enrichissante et agréable."

Le jury a apprecié une approche originale et riche du sujet, parsemée d'idées novatrices, dont l'exposé convainquant emporte l'adhésion du lecteur.

HORS SERIE
SCIENCE&AERO
Une compagnie aérienne 100% verte
L'aéronautique et l'environnement
N°40678 - Lundi 1er Juin 2030
3,70 €
Spécial

Édito

Un monde en 2030

Vous vous êtes sans doute, un jour, tous demandé quel serait le monde dans le futur, quelles avancées technologiques nous, nos enfants ou nos petits-enfants allions connaître. Avec Victor Deschamps c'est ce que nous avons décidé d'imaginer. Nous nous sommes mis dans la peau de journalistes et de spécialistes afin de créer le monde de 2030 d'après nos connaissances et enquêtes actuelles. Curieux et passionnés d'aéronautique, nous nous sommes focalisés sur le milieu de l'aéronautique civile et militaire.

Ce hors-série *Science&Aéro* est donc une fiction sortie de nos recherches, de nos hypothèses et de nos intuitions. Bien sûr nous nous ne pouvons pas être tenus pour responsables si le futur ne se réalise pas comme nous l'avons imaginé ou si les avis des lecteurs divergent par rapport à nos suppositions.

Ainsi en lisant les articles à venir, laissez nous vous transporter dans le futur. Imaginez-vous le 1er juin 2030 lisant le numéro spécial 40678 du magazine *Science&Aéro* qui retrace l'actualité du secteur aéronautique de ces 15 dernières années et profitez de ce bond dans le temps.

Rédactrice en chef, Agathe Doucet

Présentations

Victor Deschamps

Rentrant en dernière année de formation d'ingénieur généraliste à l'École des Mines d'Alès, je suis un passionné d'aéronautique et d'aérospatial. Ce concours est donc pour moi une formidable opportunité d'aborder ces sujets qui me tiennent à cœur, ainsi que l'un des principaux défis de ce siècle soit la problématique environnementale.

J'ai proposé à Agathe de participer en binôme à cette épreuve en raison de ses aptitudes en économie et géopolitique, ainsi que sa connaissance du milieu de la défense.

Je serai au sein de ce magazine journaliste et le consultant en aéronautique.

Agathe Doucet

En master 2 à l'ESDES, École de Commerce et de Management à Lyon, j'ai été invitée par Victor Deschamps à participer au concours USAIRE.

N'ayant pas de formation en ingénierie mais curieuse du secteur aéronautique, j'ai immédiatement accepté son offre. C'était pour moi la parfaite occasion d'affiner mes connaissances de ce milieu.

Tout au long de cet exercice, vous me retrouverez entant que journaliste et rédactrice en chef du magazine.

Au Sommaire de ce numéro

Actus

De nouvelles règlementations – P.4

L'UE a récemment imposé des taux de valorisation et de recyclage aux avionneurs, notamment au niveau des fuselages. Cette mesure doit permettre de mettre fin la crise aéronautique que nous subissons depuis les années 2025. Dans ce numéro spécial, nous reviendrons sur le contexte économique qui a conduit à la saturation de l'espace aérien constatée aujourd'hui.

Technologie

CLEANSKY

Dossier spécial - P.7

Dans ce dossier, des spécialistes vont étudier comment les nouvelles technologies mises en place depuis les 15 dernières années ont réussi l'exploit de réduire les consommations de carburant dans l'aéronautique. Techniques et secrets, tout vous sera dévoilé. Nous ferons également le point sur l'avènement des surfaces portantes à écoulement laminaire. Technologie phare à notre époque.

Économie

Une compagnie aérienne 100% verte – P.9

Vous découvrirez la transition énergétique de cette compagnie aérienne dont la production de biocarburant est supérieure à la consommation de sa flotte. Les technologies employées et les points clés de son modèle économique vous seront expliqués.

Insolite

Un consortium transatlantique initie le développement du premier missile air-sol biodégradable – P.11

Ce vecteur promet d'éviter la pollution des théâtres d'opérations. Nous dresserons un constat de quelques zones sinistrées et présenterons en détail ce remède prometteur contre les effets néfastes de la modernisation des armées.

NOUVELLES RÈGLEMENTATIONS

La Commission Européenne a rendu officiels les taux de valorisation et de recyclage

En 2015, les pronostics d'une crise dans le monde de l'aéronautique étaient très faibles voire inexistants. Ainsi, écrire une nouvelle fois, un énième article, sur un marché en pleine expansion maintes et maintes fois étudié et décrypté par les acteurs du marché n'apportera rien de plus que ce que le lecteur sait déjà. C'est pourquoi nous avons décidé de nous orienter dans une toute autre direction. Notre article va imaginer un marché de l'aviation saturé. Les probabilités de ce scénario sont minimes mais rappelons-nous qu'en fin d'année 2007 – début d'année 2008, personne ni même les plus grands économistes du monde n'avait vu venir la crise des subprimes. Ce serait donc une erreur d'écarter définitivement cette éventualité puisqu'en effet une crise survient dans la plupart des cas par surprise.

En cette année 2030, la Commission Européenne a enfin statué sur la mise en place des taux de recyclage et de valorisation imposés aux constructeurs aéronautique et à leurs sous-traitants. Actuellement le taux de 95% en vigueur est celui pratiqué uniquement par les géants du secteur quand les petits acteurs, eux, ne sont pas encore en conformité. Il n'est donc pas question de pénaliser le secteur mais bien d'harmoniser les pratiques de tous les acteurs de l'aéronautique.

Au-delà de la dimension écologique cette mesure a pour but de sécuriser la production d'aéronefs. Elle apporte la garantie d'un renouvellement périodique des flottes des compagnies aériennes, et permettra ainsi d'éviter à l'avenir un effondrement du marché comme celui que nous avons connu pour les long-courriers depuis cinq ans. Une comparaison peut être faite avec le marché européen de l'automobile. Depuis la mise en place des taux de recyclage et de valorisation sur ce marché, tous les constructeurs ont été placés sur un même pied d'égalité en termes d'objectifs de respect environnemental.

Crise de l'aéronautique de 2025

La règlementation des taux de valorisation ayant en partie été mise en place dans le but de relancer le marché de l'aéronautique, nous avons jugé nécessaire de revenir sur l'essoufflement de ce secteur des long-courriers depuis ces 5 dernières années.

Rappelons le contexte. En 2025, le marché de l'aéronautique connaissait une progression de 5% par an depuis plus de quinze ans. Cette augmentation répondait à une demande toujours plus importante de la part des compagnies aériennes ; ces dernières devaient satisfaire un volume de marché en constante croissance. Nous avons donc assisté à une saturation du contrôle aérien ainsi que des principaux hubs internationaux. L'espace aérien n'augmentant pas et les projets d'agrandissement des aéroports nécessitant de nombreuses années pour être opérationnels, une tension est apparue entre les compagnies aériennes notamment au niveau des obtentions de droit de trafic.

Parallèlement une guerre commerciale se jouait entre les compagnies aériennes à forte croissance, à savoir les compagnies du Golfe et certaines grandes compagnies asiatiques. La vocation de ces compagnies nationales n'était pas forcément de dégager des bénéfices. En effet, il était question de créer des sphères d'influence en devenant des plateformes d'échanges internationaux. Ces compagnies ont donc bénéficié d'importantes subventions durant de nombreuses années. En 2015 une étude révélait que les trois principales compagnies du Golfe auraient perçu un total de 42.3 milliards de dollars sous différentes formes telles que des prêts sans intérêts, fournitures non facturées ou avances des actionnaires. Elles ont ainsi pu faire l'acquisition de flottes importantes tout en menant une concurrence audacieuse sur le marché du transport aérien. Le modèle économique de chacun de ces acteurs incorporait une période de forte croissance visant à saisir des parts de marchés, la rentabilité devant être au rendez-vous à posteriori. Cette période a donc vu apparaitre un important nombre de commandes record au près des leaders du marché Airbus et Boeing. Sous la pression de la concurrence certains acteurs ont été contraints de fusionner créant ainsi des entités encore plus compétitives. C'est à partir de cette période, en 2025 que surviennent les premières annulations des commandes vertigineuses contractées dans les années 2015. La demande en long-courriers et gros porteurs s'effondre subitement. La crise coïncide avec l'arrivée à maturité des programmes de long-courriers de l'industriel chinois Comac. L'offre mondiale est alors bien au-dessus de ce que peuvent absorber les compagnies aériennes.

Ces évènements nous ont conduits à la situation actuelle, à savoir la réalisation d'importantes restructurations des avionneurs. La production est alors redirigée vers le secteur de la défense et l'aviation régionale. Cette dernière n'a pas eu à faire face à ce type de concurrence. Le marché étant réparti entre de nombreux acteurs sur chaque continent il n'a pas eu à faire face à l'explosion d'une « bulle des compagnies aériennes ». Pour sa part la montée des tensions géopolitiques sur le globe a su soutenir la croissance du secteur de la défense. D'importants contrats d'armement ont ainsi permis de conforter l'industrie de l'aéronautique durant cette période de crise dont nous sommes en train de sortir timidement.

Composites à matrice recyclable

La solution de l'Europe pour soutenir l'industrie de l'aéronautique est également un moyen de favoriser de nouveaux matériaux à faible impact environnemental. Encourager l'utilisation d'éléments structuraux recyclables permettra à l'avenir de faciliter le renouvellement des aéronefs, et de soutenir ainsi la production. Il est donc nécessaire de cibler les matériaux qui freinent le plus le recyclage des avions de ligne.

Depuis de nombreuses années, les composites prennent une place de plus en plus importante dans l'aéronautique, notamment au niveau du fuselage. Ces matériaux ont permis d'alléger considérablement les structures et de réaliser ainsi d'importantes économies en termes de consommation de carburant. Malgré les avantages de ces matériaux ils posent des problèmes de recyclage en fin de vie. Ils sont pour la plupart composés de fibre de carbone noyée dans une matrice polymère. Or le

polymère le plus utilisé est la résine époxy, de la famille des thermodurcissables. Il s'agit de polymère fortement réticulé qui n'est pas recyclable. Actuellement les procédés de solvolyse et de thermolyse permettent de séparer les fibres de la matrice mais ces deux méthodes ne permettent pas de recycler la matrice polymère. Une troisième technique existe, elle consiste à brûler le composite pour obtenir de l'énergie. Elle est appelée valorisation énergétique. Cependant elle n'est pas renouvelable et est susceptible de polluer l'environnement via les émanations de combustion.

Actuellement le recyclage des fuselages est donc un réel problème. À titre d'exemple les A320 arrivant en fin de vie représentent 12000 appareils à recycler. La complexité et le coût des processus de valorisation induisent des problématiques de stockage et de valorisation en plus du démontage et de l'extraction. Il est donc nécessaire de prendre en compte cette contrainte dans la conception des prochaines générations d'aéronefs. Il est nécessaire de ne pas reproduire les erreurs du passé.

La non-recyclabilité des résines époxy réside dans le fait qu'il s'agit de polymère thermodurcissable. Ces matériaux sont constitués des réseaux de polymère réticulés. La réticulation augmente les caractéristiques mécaniques mais rend le matériau non recyclable.

La totalité des polymères recyclables font partie de la famille des thermoplastiques. L'absence de réticulation permet de refaçonner le matériau après recyclage. Depuis une quinzaine d'année la part de plastique thermoplastique en aéronautique ne cesse d'augmenter. L'état de la recherche permet aujourd'hui d'envisager l'utilisation de ce type de matériau pour des fuselages en tant que matrice pour composites. Le polyétheréthercétone (PEEK) et le polyamide-imide (PAI) sont les deux meilleurs candidats. Associés à la fibre de carbone, ils permettent d'obtenir des caractéristiques mécaniques comparables à celles des précédentes générations de composites. Le recyclage est alors possible en portant le composite à une température supérieure à la température de transition vitreuse pour séparer la matrice de la fibre. L'utilisation de ces matériaux rendra possible un cycle de vie circulaire pour les structures des aéronefs.

La mise en place des taux de recyclage élevés va progressivement imposer l'utilisation de ce type de matériaux et le recyclage des fuselages sera alors possible.

Agathe Doucet

Bouleversement dans la gestion de fin de vie des structures en composites des lanceurs spatiaux

Depuis les quinze dernières années la fin de vie des lanceurs spatiaux a bien évolué. Dans un passé relativement proche, la totalité des lanceurs finissait partiellement décomposé par leur phase de rentrée atmosphérique pour finir au fond des océans. Après plusieurs années d'essais tumultueux les sociétés SpaceX et Blue Origin sont parvenues à mettre au point des lanceurs réutilisables. De son côté le vieux continent parvient à réutiliser ses groupes propulseurs en les faisant revenir sur Terre après séparation du corps du lanceur, fruit du programme ADELINE. Avec l'essor des véhicules suborbitaux mettant en œuvre des micro-lanceurs, quasiment la totalité de l'offre de mise en orbite a su changer ses cycles de vie en quelques années.

DOSSIER SPECIAL

Les technologies qui ont révolutionné la question environnementale dans le monde de l'aéronautique

E-FAN, Airbus Group

Nous continuons ce numéro spécial environnement avec les principaux développements technologiques ayant permis de réaliser des progrès notables en terme de réduction d'impact environnemental depuis les quinze dernières années. Une importante partie de ces innovations –du moins en Europe- est le fruit des programmes Clean Sky. Cette initiative sous forme de partenariat public-privé est financée à parts égales par la Commission Européenne et par des industriels. Ces programmes ont permis de consacrer 5,6 milliards d'euros pour la recherche dans la préservation de l'environnement pour l'aéronautique entre 2008 et 2022. Les initiatives Clean Sky sont dans la continuité de la feuille de route d'ACARE (Advisory Council for Aeronautics Research in Europe), programme soutenu par la Commission Européenne. Parmi les nombreux objectifs d'ACARE, figure la réduction des incidences environnementales portant sur une diminution de 50% des émissions de CO_2, de 80% des émissions de NOx et de 50% du bruit perçu.

Les avions électriques

L'arrivée sur le marché des avions électriques a marqué un tournant dans le monde de l'aéronautique. En effet, les avions 100% électriques occupent aujourd'hui une place non négligeable sur le marché des avions de tourisme et de formation dans les aéroclubs. Les principaux acteurs de ce secteur sont Sun Flyer outre Atlantique de Aero Electric Aircraft Corporation, en collaboration avec Arion Aircraft ; Airbus Groupe est également présent avec les successeurs de l'E-Fan. Cette progression du marché a notamment été possible grâce à l'essor des batteries lithium-polymère, leur capacité de stockage et leur légèreté étant supérieures à celles des batteries lithium-ion. Ces dernières sont utilisées dans la plupart des appareils électriques comme les terminaux mobiles et les automobiles. L'homologation prochaine des piles à combustible à hydrogène pour l'aéronautique devrait permettre d'augmenter considérablement l'autonomie des avions électriques.

De son côté, le secteur de la défense accuse un certain retard en terme de propulsion électrique. Les performances des aéronefs électriques sont généralement inférieures à

celles de ceux équipés de moteurs thermiques. Malgré cela, les drones électriques solaires sont présents sur le segment des drones HALE (haute altitude longue endurance). Ils offrent une autonomie et un coût en opération particulièrement intéressants.

Bien que des efforts considérables aient été réalisés pour adapter ces technologies à l'aviation régionale, les progrès ne sont pas encore suffisants pour concevoir un avion économiquement intéressant pour les compagnies aériennes. Les démonstrateurs d'avion à propulsion répartie représentent néanmoins une piste sérieuse pour s'attaquer progressivement à l'aviation d'affaire puis l'aviation régionale. L'ONERA est présente depuis plus de quinze ans sur cet axe de recherche.

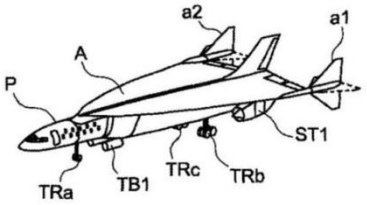
Écoulement laminaire

L'un des principaux intérêts de la propulsion répartie est de favoriser l'écoulement de l'air sur le fuselage. Nous en venons donc à présent à une problématique qui a toujours été présente en aéronautique : l'aérodynamisme. Depuis les débuts de l'aéronautique cette contrainte est prise en compte pour la réduction de consommation énergétique. La force de trainée exercée par l'air sur l'aéronef a un impact direct sur sa consommation de carburant. L'écoulement d'un fluide sur une surface est dit laminaire lorsque celui-ci est continu, plus exactement lorsque deux particules fluides voisines à un instant donné restent voisines aux instants suivants (une explication plus détaillée est donnée en *annexe 1 Définition de l'écoulement laminaire*). Dans le cas contraire, on parle d'écoulement turbulent. La transition entre ces deux régimes permet une diminution significative de la trainée. Les progrès continuellement réalisés en aéronautique, notamment au niveau des matériaux et leurs revêtements, ont permis au fil des années de créer des surfaces à écoulement laminaire. Néanmoins le voisinage des systèmes propulsifs et les surfaces portantes sont longtemps restés des zones où l'écoulement de l'air était turbulent. Le but est donc de retarder au maximum l'apparition du régime turbulent. Sous l'impulsion du programme Clean Sky 2, de nombreux projets mettant en œuvre un retardement actif de cette transition ont été initiés. Ces nouvelles technologies sont en rupture avec les technologies « passives » en vigueur avant ce programme. Issu du projet VIPER de l'entreprise Cedrat Technologies et ONERA, sous la supervision du Fraunhofer ENAS, le contrôle actif de l'écoulement par jet d'air pulsé est aujourd'hui en cours d'industrialisation. Cette technologie est basée sur des actionneurs piézoélectriques à la base de vannes contrôlant ainsi la fréquence des jets d'air pulsés. La fréquence de ces jets permet de compenser les « oscillations » de l'écoulement sur le bord d'attaque de l'aile. Des recherches sont encore en cours sur le développement d'autre méthodes de contrôle de la transition laminaire/turbulent. Une piste à l'étude par l'ONERA depuis de nombreuses années porte sur l'utilisation de décharges plasma sur les surfaces portantes. Ce procédé permet également de contrôler le lieu de transition sur l'aile.

Victor Deschamps

Illustration d'un brevet déposé par deux filiales d'Airbus, 2015

Loin d'être un exemple en terme d'écologie, la performance technologique de l'avion spatial d'Airbus Group n'en est pas moins impressionnante. Les performances de cet avion suborbital n'auraient pas été possibles sans les nombreux progrès technologiques réalisés au cours de ces dernières années. Un premier démonstrateur devrait voler d'ici quelques années, le modèle de série étant attendu pour 2040.



UN NOUVEAU MODELE ECONOMIQUE

FLY-GREEN, une compagnie aérienne 100% verte

Pour ce hors-série à la problématique environnementale, nous nous sommes demandés jusqu'où pourrait aller une compagnie aérienne décidant d'avoir sa ligne de conduite 100% verte. De là a germé l'idée de cet article sur le business plan de Fly-Green, compagnie aérienne écologique.

Nous ne pouvions réaliser notre édition spéciale sur la question environnementale sans parler de la success-story de la compagnie régionale Fly-Green. Créée en 2023 le groupe a su imposer un modèle économique solide en pleine période de crise tout en gardant un bilan carbone exceptionnel.

Il ne s'agit pas simplement d'une compagnie aérienne. En effet le groupe est constitué d'une compagnie aérienne Fly Green Airlines et d'un producteur d'énergie Fly Green Energy. Le but de la compagnie est de produire chaque année autant d'hydrocarbure que la consommation de sa flotte. Le raffinage et la distribution du carburant sont sous-traités par les géants du secteur. Ce n'est donc pas directement FLY Green qui utilise le carburant écologique qu'il produit. La logistique serait beaucoup trop lourde et pénaliserait les résultats du groupe. En effet il est difficilement concevable qu'une compagnie régionale aérienne gère elle-même son approvisionnement en carburant car cela reviendrait à avoir dans chaque aéroport desservi un point d'approvisionnement. Fly Green se contente donc d'équilibrer sa production avec ses dépenses en carburant.

Fly Green Energy a choisi de concentrer son activité sur deux sources de production d'énergie : les biocarburants et le carburant de synthèse confectionné à partir d'énergie renouvelable. Cette diversité d'approvisionnement est issue d'un compromis entre le coût fixe élevé de la production des carburants de synthèses à partir d'énergie renouvelable et les fluctuations des cours du biocarburant. Sa production est répartie entre 90% de biocarburant et 10% de carburant de synthèse. Ce déséquilibre est une conséquence du prix élevé de la production du carburant de synthèse.

Bien que les émissions de gaz à effet de serre de Fly Green Airlines soient comparables à celles des autres compagnies de taille similaire, l'impact sur le cycle du carbone du groupe est nul. Le carburant produit par Fly Green Energy peut donc être considéré comme un moyen de stockage d'énergie. En effet, les biocarburants stockent l'énergie solaire captée lors de la photosynthèse et les carburants de synthèse permettent de stocker l'énergie nécessaire à la synthèse des hydrocarbures.

En utilisant ce modèle Fly Green maîtrise de façon globale l'impact environnemental de ses fournisseurs. Elle a ainsi pu obtenir de nombreux labels et acquérir une notoriété qui est à l'origine de ses résultats prometteurs.

Biocarburants

Le biocarburant est la principale source d'énergie de FLY Green, issu de la filière alcool des agro-carburants. La matière première principale est la canne à sucre et le maïs. Afin d'assurer la pérennité de son approvisionnement, la compagnie a fait l'acquisition de nombreuses exploitations dans différentes zones géographiques. Ses terres sont principalement réparties sur le continent africain et en Amérique du Sud.

Outre la protection de l'approvisionnement, cette diversité géographique permet de respecter la biodiversité. En effet le XXIème

siècle a vu une forte augmentation de la proportion des terres arables consacrées à la production d'hydrocarbure. En 2014, elle représentait déjà 31% à 54%. Aujourd'hui en 2030, ce sont 60% des terres arables dans le monde qui sont consacrées à la production de carburant. Il est donc primordial pour les compagnies aériennes de sécuriser leurs approvisionnements. Le principal concurrent de l'aéronautique sur ce secteur reste l'automobile qui accapare une importante partie des ressources en bioéthanol, alors que des solutions alternatives sont déjà en circulation depuis de nombreuses années. Fly Green Energy veille à limiter la taille de ses exploitations pour éviter d'avoir un impact trop important sur la biodiversité.

Comme évoqué au début de l'article, Fly Green Energy vend la totalité de sa production d'éthanol à des compagnies pétrolières qui se chargent ensuite de sa distribution. Sa production n'est pas nécessairement utilisée pour le transport aérien.

Carburants de synthèse à partir d'énergie renouvelable

La problématique de la saturation des terres arables a poussé FLY Green à diversifier son approvisionnement. Elle s'est donc tournée vers les carburants de synthèses.

Le procédé retenu par Fly Green Energy s'appuie sur la réaction de Sabatier qui nécessite un apport en dioxyde de carbone. Dans un premier, il est question temps de réaliser une réaction d'électrolyse de l'eau pour obtenir du dihydrogène. Dans un second temps, la réaction de Sabatier permet d'obtenir du méthane en faisant réagir le dihydrogène avec le dioxyde de carbone :

$$2\,H2O \rightarrow 2\,H2 + O2$$

$$CO2 + 4\,H2 \rightarrow CH4 + 2\,H2O$$

Le bilan de ces réactions est énergivore. La quantité d'énergie nécessaire à sa réalisation correspond au potentiel chimique stocké par le méthane (CH4) produit. Ce process est utilisé de façon industrielle depuis 2011, notamment en Allemagne sur le parc éolien de Morbach. Pour concrétiser son projet, Fly Green Energy a dû faire l'acquisition de moyens de production d'énergie renouvelable. C'est d'ailleurs ce qui limite la part de carburant de synthèse à 10% des hydrocarbures produits par Fly Green Energy. Des investissements considérables doivent être mis en œuvre pour acquérir des unités de production.

L'approvisionnement en dioxyde de carbone est assuré par des partenariats avec des industries produisant d'importantes quantités de CO2 tel que des cimenteries et l'industrie métallurgique. Paradoxalement l'approvisionnement en gaz carbonique est une source de revenus pour Fly Green Energy qui facture auprès de ses fournisseurs la « dépollution » engendrée.

Comme pour le biocarburant, le méthane de synthèse n'est pas directement utilisé par Fly Green Airlines. Cet hydrocarbure n'est d'ailleurs utilisé par aucune compagnie aérienne. Il est assimilé par l'industrie pétrolière et c'est par un calcul d'équivalence énergétique que la compagnie peut prétendre que son méthane de synthèse correspond à 10% de sa consommation de kérosène. Le méthane peut être transformé en d'autres hydrocarbures tels que le kérosène. Le rendement énergétique de cette opération étant faible, il est plus écologique de revendre directement le méthane comme s'il avait été extrait d'un forage gazier.

Fly Green est sans aucun doute la compagnie aérienne avec le plus faible impact environnemental. Le principal reproche pouvant lui être fait est de ne pas utiliser directement le carburant écologique qu'elle produit. Si d'autres compagnies adoptent le même modèle et renforcent alors l'approvisionnement en biocarburant, il sera certainement possible de faire voler certains avions exclusivement avec des carburants responsables.

Agathe Doucet

Aéronautique militaire

Le développement du premier missile air-sol biodégradable

Parmi les sujets conciliant défense et environnement, celui-ci nous a particulièrement attiré par son aspect polémique. Il relève néanmoins des problématiques environnementales sérieuses et des marchés potentiellement importants.

Nous avons pu assister cette année au lancement de l'étude de faisabilité de la première bombe dite « verte ». Un contrat d'étude a été signé entre la France, le Royaume Uni et les Etats Unis afin d'évaluer la possibilité d'un tel projet. Cette signature officialise la déclaration d'intention évoquée lors du dernier sommet de l'OTAN. L'étude sera réalisée conjointement par Raytheon et MBDA.

Longtemps sujet à controverse, le missile « vert » est facilement taxé de produit marketing et est souvent victime du paradoxe de sa simple conception. En effet, la problématique environnementale étant à première vue insignifiante vis-à-vis des enjeux et de la nature destructrice d'une frappe. Néanmoins l'évolution des champs de bataille au cours du XXI$_{ème}$ siècle a vu ce concept être en passe de devenir une nécessité. Polluer une zone géographie pour renforcer la stabilité de celle-ci est quasiment contradictoire. De plus, les frappes aéroportées sont aujourd'hui le fer de lance de tout engagement militaire. Les vecteurs sont de plus en plus « intelligents », la numérisation du champ de bataille a conduit les armée à utiliser davantage de bombes guidées au marquage laser et par des coordonnées GPS. L'augmentation de l'utilisation de substances polluantes pour leur confection croit avec celle de la technicité des équipements. Un constat alarmant a pu être constaté depuis une quinzaine d'année sur certains théâtres d'opérations.

À titre d'illustration, partons sur un lieu qui, sans être une zone de conflit, est touchée de plein fouet par ce phénomène. Allons à Quirra, ville au Sud-Est de la Sardaigne sur la base

militaire de l'OTAN. Cette zone militaire de 127 km^2 a servi de lieu d'essai pour les missiliers européens. Depuis de très nombreuses années, les expérimentations régulières ont conduit au tir de plusieurs milliers de missiles. À titre d'exemple un missile Milan comporte 35g de thorium dans son avionique qui sont dispersés dans l'environnement lors de l'explosion. L'impact sanitaire négatif sur la population locale est avéré depuis longtemps tout comme les effets néfastes sur l'environnement de la région. Il est donc impératif de mettre en place des mesures pour éradiquer cette source de pollution.

Les instabilités encore présentes dans le monde ne permettent pas de dresser un bilan écologique de ces zones. Les conflits ayant généré de nombreuses sources de pollution, il est extrêmement difficile de déterminer la part de responsabilité des effets des missiles sur l'environnement. Cependant, les données fournies par les forces présentes lors de certains conflits permettent tout de même de quantifier l'importance de la pollution des missiles.

En ce qui concerne l'impact des « bombes intelligentes », entre septembre 2014 et juin 2015, 4924 frappes ont été réalisées par la coalition internationale lors de la guerre contre l'Etat Islamique. En estimant à 100g la quantité de terre rare pour chaque tête, répartie entre les capteurs, piles et processeurs, ce sont donc 500 kg de terres rares qui sont répandues annuellement sur la zone de conflit. Partant de ce constat, les sources de pollution des théâtres d'opération issues de nos forces armées peuvent être ciblées. Une volonté politique est alors nécessaire pour amorcer le développement de technologies à faible impact écologique.

La démarche de responsabilisation n'est pas nouvelle dans l'industrie des missiles. Depuis une vingtaines d'années, la réduction des dommages collatéraux est une contrainte constante dans la conception de missiles et de bombes guidées. La famille de missile air-sol Brimstone de MBDA en est une parfaite illustration. Elle comporte un radar millimétrique et un guidage laser avec une charge militaire relativement réduite. Cette association permet de réaliser des frappes chirurgicales et de minimiser les dégâts sur le terrain. De son coté, Aerojet Rocketdyne s'est doté depuis plus de quinze ans de la BLU-129/B. Son fuselage en composite se désagrège lors de l'explosion et permet de réduire la létalité autour de la zone de frappe. La réduction de l'impact environnemental s'inscrit donc dans la continuité des efforts réalisés par les industriels pour réduire les dommages collatéraux des frappes.

Ainsi, ce sont bien les éléments d'avionique qui sont les plus dangereux pour l'environnement. Il s'agit principalement des capteurs et de la carte contenant le processeur. Ces derniers sont principalement constitués de semi-conducteurs parmi lesquels des terres rares dont la plupart présentent une écotoxicité importante. Ce trouvent également du thorium, de l'arsenic, du cobalt, de l'antimoine et du titanium. La principale phase de l'étude sera donc concentrée sur la réalisation d'une tête biodégradable. La piste la plus sérieuse de l'étude de faisabilité est l'utilisation de nanofibrilles de cellulose (CNF). En effet des chercheurs de l'Université du Wisconsin ont mis en évidence en 2015 la possibilité de l'emploi de ce matériau pour la réalisation de processeurs.

Depuis des procédés d'industrialisation ont été mis en place. Bien que leur utilisation ne soit pas adaptée au grand public pour des raisons de coût et de capacité de calcul, elle se révèle être parfaite pour un marché plus restreint tel que celui des « bombes intelligentes ».

Les premiers démonstrateurs devraient être opérationnels d'ici trois à cinq ans. La prise de conscience en matière d'écologie étant de plus en plus forte depuis une trentaine d'années, cet équipement est déjà annoncé comme un futur succès à l'exportation.

Victor Deschamps

Ont participé à ce numéro :

http://www.aeac.aero/

http://cordis.europa.eu/result/rcn/169478_fr.html

http://www.lefigaro.fr/societes/2015/02/26/20005-20150226ARTFIG00004-les-compagnies-americaines-accusent-leurs-rivales-du-golfe-de-concurrence-deloyale.php

http://www.morbach.de/energie_und_umwelt.html

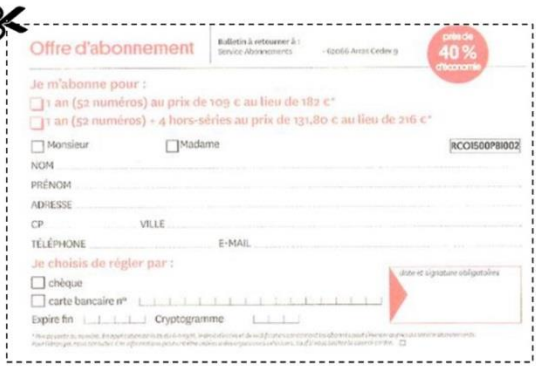
http://www.natura-sciences.com/loisirs/quirra-poubelle-armees658.html

http://www.nature.com/ncomms/2015/150526/ncomms8170/full/ncomms8170.html#affil-auth

http://www.onera.fr/fr/dmae/transition-trainee

http://www.sunfire.de/en

https://fr.wikipedia.org/wiki/Coalition_arabo-occidentale_en_Irak_et_en_Syrie



Annexe 1 : Définition de l'écoulement laminaire

L'écoulement d'un fluide sur surface peut être qualifié à l'aide d'un régime. Il peut être laminaire, transitoire ou turbulent. L'écoulement laminaire est caractérisé par le fait qu'il est continu, par opposition à l'écoulement turbulent qui présente un caractère tourbillonnaire et une apparence désordonnée.

En un point d'un système la nature de l'écoulement est donnée par nombre de Reynolds, rapport entre les forces d'inertie et les forces visqueuses :

$$Re = \frac{\rho V L}{\mu}$$

ρ : masse volumique du fluide en kg/m^3

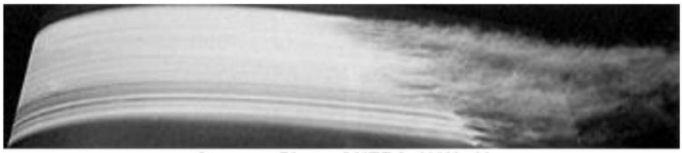
V : vitesse caractéristique du fluide en m/s

L : dimension caractéristique du système en m

μ : viscosité dynamique de fluide en kg/(m.s)

Pour des valeurs petites du nombre de Reynolds l'écoulement est laminaire, il devient progressivement transitoire puis turbulent. Ce modèle théorique ne prend pas en compte la rugosité de la surface balayée ni le profil de la surface.

L'écoulement turbulent créé des vibrations et des échauffements sur la structure qui freinent l'aéronef. Pour un avion de type long-courrier, la traînée de frottement est responsable d'environ 50% de la trainée. Il y a donc un fort potentiel de réduction des forces de frottement, et donc d'économie de carburant.



Source : Photo ONERA, H.Werlé

Ci-dessus une illustration de la couche limite l'apparition des turbulences. Le défi des concepteurs d'avion est de repousser au maximum la ligne d'apparition des turbulences afin de diminuer leur impact.

Prix spécial du Jury

Yann WENDEL et Thomas KEFALAS

(SciencesPo-Paris II / SciencesPo-HEC)

"Working for a significant industrial actor such as Thales or within a defensive alliance like NATO gave me a global understanding of defense-related activities. I considered the 2015 Student Award Edition as an opportunity to broaden my perspective, and confirm my interest for the Aerospace industry. Indeed, to grasp how the environmental question is impacting the whole value chain of this industry, you need to develop a complete understanding of its business model, and this is what I enjoyed in this project."

Thomas Kefalas

"After graduating from Sciences Po's Master in Public Affairs, I enrolled in a Master specialized in defense and industrial dynamics. I am always willing to develop a deeper knowledge of topics related to defense, and competing for the USAIRE Student Award was an occasion to engage in the study of green defense. Furthermore, an apprentice at Airbus Group, I am currently working on export control issues within the Public Affairs and Defense department, and plan to join the defense industry once I graduate in 2016."

Yann Wendel

Le jury a apprecié la qualité des recherches conduites par les auteurs de cet essai, qui viennent ensuite alimenter une analyse claire et exhaustive des multiples aspects de la problématique.

2030: The Environmental issue in the business model of Civil and Defense Aerospace Industry

In 2008, in order to become the winner of the third Student Award's edition, Gaël Le Bris also had to work on the energy and environmental context in 2030. When we discovered his report, seven years later, we were surprised to realize how the global context had changed in just a few years, despite the serious and the attention he displayed in order to predict the future environment of the aerospace industry. At this moment, we realized that it was a very difficult task to predict the evolution of its business model by 2030, back in 2015.

The interest of studying this particular sector is that, despite very long production cycles, to fully understand the challenges that the industry is currently facing, one always needs to update the available information. First, the economic environment is not easily predictable. While the topic of the last year award was about the crucial role that developing countries such as China are expected to play in 2050, its current economic crisis and the slowdown of its economic growth that are occurring at the moment are seriously questioning our vision of the future. Meanwhile, political instability can also have an impact on the aerospace industry, and reverse the defense budgets reduction trend, with the increasing militarization of Middle-East countries.

It is also difficult to anticipate the role that international institutions and states are going to play in the upcoming years. International Summits, such as Kyoto in 1997, or national initiatives, such as the French "Grenelle de l'Environnement", generated big hopes and expectations, along with some disappointment over the years. Due to various priorities expressed by the different countries

that will attend the 2015 “COP21”, no one can predict its successfulness in a few months.

Technological innovation is also a source of uncertainty. Even if the aerospace sector is a long cycle industry, multiple factors can jeopardize the R&D programs that are supposed to lead to major technological breaches. For example, while in 2008, the development of low-consumption aircraft was incentivized by the fear of running short of fuel and its high pricing, are these efforts still relevant with its sharp decrease since late 2014, and the shale gas exploitation?

Prediction is very difficult, especially if it is about the future.

Niels Bohr

As reminded by M. Bohr, it is very easy and rewarding to look back at the predictions realized in the past by other USAIRE awarded students, and re-evaluate their accuracy. But Gaël Le Bris may take his revenge: we are today dealing with the same issue he faced seven years ago, and the predictions we are building will also be severely challenged in the upcoming years. The objective of this report is to gather data, collect some expert’s opinion to give us hints about how to answer these complex questions.

It was quickly obvious for us that we had to adopt a transverse approach to address all the facets of the environmental issue. Some technological notions were of course necessary to understand the upcoming innovations developed by industrials to meet the increasing expectations of airline companies. Since the notion of business model is involved, it was also necessary to understand the economic and strategic factors that are currently shaping the aerospace business. Finally, based on our common formation, we also had to adopt a political and juridical approach to understand the environmental issue.

This paper will primarily focus on the business model evolutions impacting the aerospace industry, then it will present an overview of the global environmental issues and how they are being

addressed by industries as well as institutions. Last, we will discuss the various technologies that will be available by 2030 to help ensure a sustainable growth of this industry.

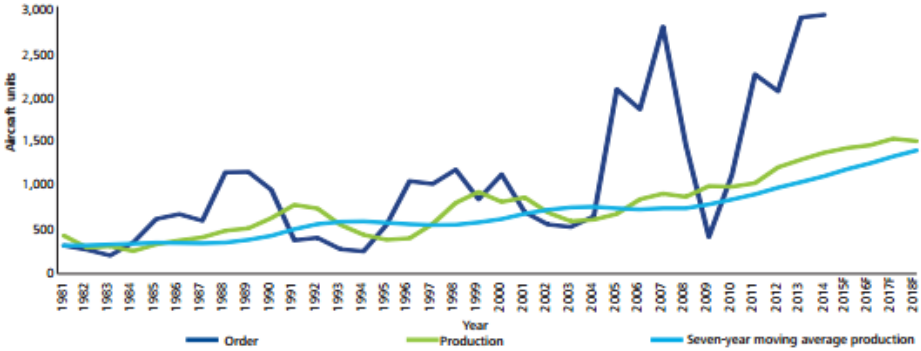
1. Growth and business model evolutions are expected for the civil aerospace industry, while the defense sector has to diversify and improve its performance to face a shrinking market.

➢ The civil aerospace industry needs to understand the evolution of its business environment, in order to benefit from the increasing demand.

On August 17th 2015, the most important airplane order in History was made by the Indian airline Indigo: 320 Airbus Neo jets, for a total of US$26.55 billion[1]. Even though this amount may seem enormous for outside observers, this is anything but a surprise for an industry whose total annual orders have **been multiplied by 6 over the last 30 years**[2]. Meanwhile, the increasing success of the Paris Air Show (US$150 billion orders in 2013, US$130 billion in 2015[3]) is a good illustration of the continuously growing interest for the aerospace industry.

34300 new aircraft are expected to be delivered by 2030, and revenues seem to be following the same trend: +7.7% from 2013 to 2014 for the top 20 aerospace and defense companies, with a significant increase of operating profit (+13.6%). Meanwhile, passenger travel demand is also growing, with a sharp 428% rise from 1981 to 2014 and **an expected 5% annual growth until 2030**.

[1] http://www.lesechos.fr/industrie-services/air-defense/021265313508-airbus-confirme-une-commande-record-de-250-a320-neo-1144886.php
[2] 2015 Global aerospace and defense industry outlook - Deloitte
[3] http://www.lemonde.fr/les-decodeurs/article/2015/06/22/le-succes-du-51e-salon-du-bourget-en-chiffres_4659349_4355770.html



However these numbers **do not reflect the pressure that the aeronautical industry has been knowing for several years**. The market is shifting towards developing countries, with growing expectations addressed to industrials, such as the need to deliver these aircraft on time. In the upcoming years, the aerospace companies have to factor in the necessity **to increase their production capabilities**, in the evolution of their business model. Moreover, with the rising demand of the flying public for lower rates, operators are pushing for the development of low-consumption aircraft at lower prices, which **requires a strong research & development policy** from industrials.

This pressure is impacting every level of the value chain, and the **current scatter of suppliers** will need to evolve towards a more concentrated environment, in order to increase the production rate while reducing production costs. In 2013, Airbus had more than 35 500 suppliers[4], and all of them did not have the means to reach the investment level required by the next aircraft generation. Mergers and Acquisitions are expected to occur, while suppliers may be interested in sharing their expertise. In the upcoming years, industrials will need to anticipate this paradigm shift.

Yet, industrials need to conduct other changes in the business model than mere innovations. More and more airline companies are also asking for a more integrated offer**: not only do they want to buy a**

[4] http://www.les500.fr/fiches-entreprises/airbus-group.html

solution, but they are also looking for a follow-up including repair and maintenance services. Industrials need to accept this diversification of their activity: it will enable them to have a better control of the whole aircraft lifecycle, from production to recycling, and ensure them a stable and sustainable source of income.

The economic context for civil aerospace therefore presents some interesting opportunities for existing or incoming players, as long as they have the strong investment capabilities required. The demand for next generation aircraft is permanently increasing, and will affect the value chain as it exists today. Consolidation, diversification and technological innovation are keys for commercial aerospace industrials to face the upcoming challenges.

- **The reduction of western defense budgets explains cost reduction programs within the defense aerospace industry, and the need to find new business opportunities.**

39%: that's **the share of the U.S. budget in the total global spent** regarding defense. Therefore, it is no surprise that any change in the U.S. military budget hast a tremendous impact on the defense aerospace market.

In 2011, Republicans accepted to raise the debt ceiling in exchange for serious deficit reduction in the U.S. budget. Obama had to commit to cut domestic spending over the next 10 years by about US$1 trillion[5]. The military budget has been severely affected by this deal: in 2013, the Budget Control Act took effect including a US$37 billion cut in defense spending, and US$52 billion of expected annual reductions for the next nine years.

[5] http://www.nytimes.com/2013/02/22/us/politics/questions-and-answers-about-the-sequester.html

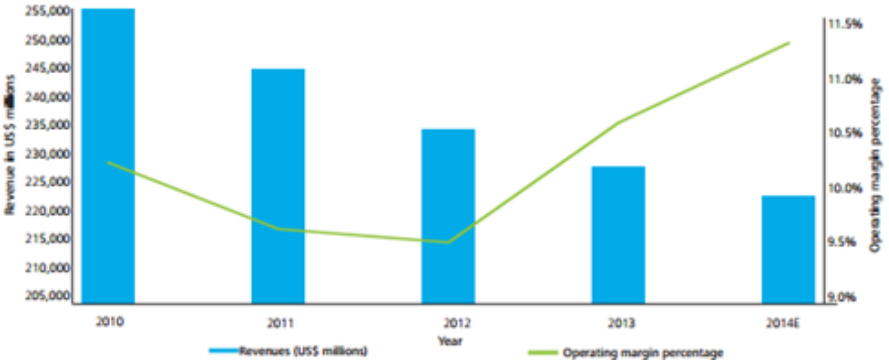


Figure 2.: Defense revenue and operating margins *(source : Deloitte. Global aerospace and defense industry outlook).*

Strong defense budget cuts were also observed in most western countries until 2014, forcing industrials to focus on operating margins, and to find new markets through diversification and increasing internationalization.

Automation, digital product development, computer aided design and simulation are some of the processes that have been developed in order to **reduce costs**, and avoid expensive labor forces. Here again, **consolidations** are expected to happen in the incoming years**,** especially in Europe. Indeed, as stated by the European Commission, the European industrial environment suffers from a wide range of actors[6], in a very competitive area where **economies of scale** are essential to increase market share.

Industrials must also broaden their scope of activities to meet the states' expectations. For instance, the market of ISR (intelligence, surveillance and reconnaissance) solutions is still growing, with the

[6] Commission européenne, « Communication de la Commission au Parlement européen, au Conseil, au Comité
Économique et social européen et au Comité des régions – Stratégie pour une industrie européenne de la défense
Plus forte et plus compétitive ». Bruxelles, 2007, COM (2007) 764 final.

increasing use of unmanned aircraft. Moreover, **integration of big data analysis or cyber security to existing solutions** needs to be developed by aerospace industrials, since these technologies are often related and operated through different business units within the same group (Cassidian for Airbus Group, Thales Communications & Security…). Finally, **advice, repair and maintenance** are definitely new ways of doing business for industrials, but they are also the best answers to the increasing demand for externalization by customers who are looking for more efficiency.

Even if these changes in the business model are necessary for industrials to come through this complex economic environment, it is important to notice that the **growing international instability** may force governments to reevaluate the opportunity of reducing defense budget. Indeed, the **worsening situation in Eastern-Europe, Syria and Iraq** creates a strong incentive for many governments to invest in defense materials. On the 8th of July, while announcing his summer budget, David Cameron pledged to meet NATO's target of spending: 2% of national income on defense every year, up to 2020[7]. On the 16th of February 2015, Egypt decided to equip its Army with Dassault's Rafales, and signed a US$5.2 Billion contract[8]. Even if western countries are not investing as much as they used to in military equipment, countries that feel threatened are still increasing their defense budget, such as Saudi Arabia, the UAE, India, Russia and South Korea.

The generalization of **asymmetric conflicts** could also explain a strong demand in fighter planes in the upcoming years, while states are more and more reluctant to put "boots on the ground". A broad coalition led by the U.S. is constantly bombing ISIS positions in Syria and Iraq. Part of this coalition since the 29th of August, Turkey is also using its aircraft against Kurdish movements, while the Saudi Air Force struggles with Houthis rebels in Yemen. Meanwhile, drones are constantly monitoring terrorists' movements in Afghanistan and Pakistan. Aircraft strikes are always seen as a strong destabilizing factor for the enemy, while the use of drone is a way to "project power without projecting vulnerability"[9], which remains a very strong argument for policy makers.

[7] http://www.bbc.com/news/uk-33448383
[8] http://www.lemonde.fr/economie/article/2015/02/16/le-contrat-de-vente-du-rafale-a-l-egypte-en-cinq-questions_4577395_3234.html
[9] U.S. Air Force Lt. Gen. Deptula, in http://breakingdefense.com/author/David-Deptula/

Cost reductions, diversification and exportations are currently the most important challenges that defense aerospace industrials have to address, in order to survive to western defense budget reductions; exportations towards emerging markets are the only way for companies to resist this very competitive environment.

2. The ever more important environmental problematic could hamper growth for the aerospace and defense industry if not addressed properly

➢ A gradual global awareness about the urge to protect the environment

Since 1970 and the oil shocks, nature has been gradually taken into account in growth forecasts[10]. This trend was soon followed by a UN conference on the environment, held in Stockholm in 1972. Sixteen years later, the UN released the Brundtland report, using for the first time the expression "sustainable growth". The Earth Summit of Rio in 1992 was another milestone of the rising global awareness about climate change. The Kyoto Protocol was later implemented to reduce gas emissions. More recently, on October 23rd 2014, European Union leaders agreed on the **2030 policy framework for climate and energy**, targeting a 40% reduction of gas emission reduction compared to the 1990's level.

It is now common knowledge that environmental issues can prevent businesses from growing. Indeed not protecting the environment could be more expensive than doing nothing, hence the vital importance of the COP 21 for the future of the global economic model. In that regard, various countries have expressed their "Intended Nationally Determined Contribution", showing an interest for the protection of the environment.

[10] Schubert K., « Quels enseignements tirer des modèles économiques de croissance ? », in *Paroles d'économistes*. Conseil Economique pour le Développement Durable

Despite the fact that this conference does not take into account Aerospace activity, environmental issues are definitely on the current political agenda.

The main topic of the Paris Air Show 2015 was the environment, since aerospace activity clearly plays a significant role in **climate change, air quality, and noise pollution**[11]**.** Aircraft produce CO2 emissions resulting from the burning of kerosene, but carbon dioxide is not the only greenhouse gas emitted by aircraft. Planes also emit NOx (Nitrogen Oxide), which has three times the radiative forcing effect on climate change than what would be expected from classic CO2 emissions alone[12]. Planes also emit water vapor, unburned hydrocarbons, carbon monoxide and sulfur oxides (gases which, if delivered at high altitudes, can have a far greater impact on climate change than other sources of combustion byproducts). For instance, water vapor trails at high altitudes (*contrails*) interact directly with the Earth's radiation balance, whereas they are inoffensive on the ground. This high atmosphere pollution explains why the overall climate effect of aviation greenhouse gases is much higher than the pollution merely resulting from CO2 combustion.

Another point is the responsibility of aviation in **air pollution** around major airports. In the vicinity of airports, planes landing and taking off emit volatile organic compounds (VOCs), NOx, carbon monoxide (CO) and particulate matter (PM), substances which contribute to local air quality depletion. As a result of aviation impacts on air quality and noise, some airport expansion plans have been delayed and canceled, hindering the growth of air transportation.

[11] « Paris Air Show goes green amid sluggish sales ». 14 June 2015. Available at [http://www.bbc.com/news/business-33092936]

[12] Intergovernmental Panel on Climate Change. Aviation and the Global Atmosphere. [http://www.ipcc.ch/ipccreports/sres/aviation/index.php?idp=65]

Figure 3: The evolution of global air travel over the next 30 years and its environmental impact *(source: Sustainable Aviation: Environmental Innovations)*

- **The interactions between defense and environment are ambivalent**

From a military perspective, the environment is defined as a theater of operations. This vision could fuel a conflict between strategic goals and the prevention of pollution[13]. One could indeed say that, when designing military jets, noise is hardly a criterion compared to imperatives such as power, velocity, and capacity to carry missiles. Sustainable growth can therefore be perceived as a burden for the reactivity and efficiency of military operations.

A balance must be found between the need for the readiness of the military aviation, and sustainable growth[14]. The army's main reason for reducing noise footprint is its public relations with its neighbors, but it can also be useful during operations. In 2011, high-tech stealth helicopters appeared in public consciousness after the raid on Bin Laden's compound in Pakistan, proving that with engineering improvements, armed forces could mitigate the roar of fighter aircraft. As for planes, the JAS 39 Gripen

[13] "Actes des Ateliers du CESA : Le développement durable, un enjeu pour l'armée de l'air". *Penser les ailes françaises*, n°27, 2012. pp. 55-97

[14] Waitz, I., Lukachko, S. & Lee, J. "Military aviation and the environment: historical trends and comparison to civil aviation". *Journal of aircraft*, Vol. 42, N°2, March-April 2005. pp. 329-343

of SAAB allows for flexibility in performing noise abatement maneuvers during takeoff and landing[15].

The Ministries of Defense have identified environmental issues as potentially dangerous for global security, especially in an unstable world. From a national point of view, since the role of the army is to defend a given territory, it must make sure that the environment is not destroyed. A government must indeed be able to manage the resources of its territory: hindering the country from achieving its missions would not be adequate on a strategic dimension[16]. Considering operations outside the country, it is now necessary to take into account the impact of an air raid on the environment, which is facilitated by the use of more modern and precise weapons, as mentioned before. The massive bombings that occurred in Vietnam and Kosovo have been disastrous for the environment (the operation *Ranch Hand* in Vietnam between 1962 and 1971 destroyed 1/5th of the Vietnamese forests), which did not help the case of the attackers, with regards to public opinion inside and outside the community targeted[17]. A military victory could indeed become a political defeat, due to media coverage in an ever more connected society. This situation could also affect the image of defense industries as a whole, which would hamper their growth.

3. Industrials and Institutions, between regulations and governance : towards a more collaborative model

[15] Public concern may turn volume down on military jets. 19 June 2013. [http://www.euractiv.com/specialreport-future-aviation-qu/noise-laws-govern-military-jets-news-528586]

[16] Bonin-Laurent E. (Lieutenant). “Protection de l’environnement et stratégie aérienne”. *Penser les Ailes françaises*, n°21, 2009, pp. 28-39

[17] “Actes des Ateliers du CESA : Le développement durable, un enjeu pour l’armée de l’air”. *Penser les ailes françaises*, n°27, 2012. pp. 55-97

- **International establishment of a legal framework, followed by national implementations**

For security matters, the aerospace industry has always been framed by international regulations produced by specialized organizations, such as **the ICAO** (a United Nations agency) or **the EASA** at the European level. These regulations are then implemented by states through national agencies, such as the CAA in the United Kingdom or the DGAC in France.

Policies, standards and guidelines produced by these organizations are often used as references at the national level, and thiq is why these structures are well-equipped to address the environmental issue at a global level. Created in 1944 in Montréal, the ICAO expressed in the 1980s a concern about climate change and reduction of gas emissions, and the creation in 1983 of the Committee on Aviation Environmental Protection demonstrates its will to deepen its commitment to bring about environmental matters[18].

Following the 37th Session of the ICAO Assembly, the Organization undertook intense capacity-building initiatives in consultation and cooperation with member states. The objective of the ICAO was to raise awareness about this issue at an international level, and help every member identify their means of action. As a result, within just a few years, this program has successfully facilitated the preparation and submission of state action plans representing approximately 80% of global international air traffic. In 2016, the ICAO will discuss reduction of gas emissions in the air transportation, by proposing a compensation system encouraging companies to fund environmental programs, like the EU ETS System (inspired by the Pigovian tax model, whose objective was to take into account negative externalities).

Finding an international agreement on these very sensitive issues has never been an easy task, and many criticize the ICAO for not producing enough regulations. However an industrial made the assumption on the topic that "*Aviation is a global business and emissions are a global issue.*

[18] http://www.icao.int/environmental-protection/Pages/FR/CAEP_FR.aspx

We can't operate with a patchwork of regional laws and regulations", thus emphasizing the role of international organizations in this matter[19].

The reduction of carbon emissions, but also **noise reduction** are concerns addressed by international institutions. For example, at the European level, the EU Environmental Noise Directive forces any airport "*with more than 50 000 aircraft movements a year or which impacts a densely populated urban area*" to produce a noise action plan and strategic noise maps.

Dynamics at the national level also create legal frameworks for industrials: The US intends to reduce its greenhouse gas emissions by 28% below its 2005 level by 2025[20]. The EU and its member states are committed to a binding target of at least 40% domestic reduction in greenhouse gas emissions by 2030, compared to 1990. The current undertaking is a 20% emission reduction commitment by 2020 compared to 1990. By 2030, China will achieve the peaking of carbon dioxide, will lower carbon dioxide emissions per unit of GDP by 60% from the 2005 level, will increase the share of non-fossil fuels in energy consumption to 20%, and increase the forest stock volume by 4,5 billion cubic meters.

Defense industrials are also affected by an increasing demand for low-consumption materials. All over the world, Ministries of Defense are also becoming more and more committed to reduce their carbon footprint. The balance between operational efficiency and environmental protection is sometimes hard to find, but Air forces are now taking the environmental factor into account.

First, **training flight hours are optimized**, while the army is incentivized to use simulators. **Ways of operating are also impacted**: for example, the NATO document Stanag 71-41 defines an environmental doctrine, with a prioritization of objectives. Strategic bombing has been replaced by new technologies, weapons are more precise: some bombs are laser guided or GPS guided. Collateral damages are hence reduced, especially concerning the environment, and it fosters industrials to invest more in these weapons systems. In France, the inter-army directive

[19] http://www.euractiv.com/sections/aviation/icao-under-pressure-forge-deal-aviation-emissions-303563

[20] (Greenhouse gases targeted: Carbon dioxide, methane, nitrous oxide, perfluorocarbons, hydrofluorocarbons, sulphur hexafluoride, nitrogen trifluoride)

n°514/DEF/EMA/EMP.5/NP on the protection of environment during operations was implemented in May 2004.

Yet, the main focus is about reducing the use of carbon based-fuels. The U.S. Department of defense is recently said to pay US$150 per gallon for alternative jet fuel made from algae[21], while the U.S. Navy objective is to purchase 50% of its energy consumption from alternative sources by 2020. The French Army is also going in the same direction[22], while the Israel Defense Forces are now recycling their fuel[23].

Reducing the carbon print of airbases is also a growing military concern. In France, the increased use of electrical solutions through photovoltaic panels and geothermal energy helps reducing gas emissions, while pilots are taught not to fly over some regional parks where endangered species live[24]. Meanwhile, every year, the Ministry of Defense attributes 10 Million € of credits to the research on the environmental dimension of defense systems. It currently conducts 42 "eco-conceived" armament programs (the A400M with noise limitation and CO2 emissions reduction for example).

Environmental specifications are more and more addressed to aerospace industrials. If they want to keep their existing clients, they need to adapt to new regulations and standards developed both by the civil aerospace environment and states' Departments of Defense. It creates an important incentive for them to collaborate more closely with public institutions, regarding innovation or development of non-coercive norms.

- **Public-Private initiatives: a better way to promote environmental awareness within the industrial actors**

[21] http://freebeacon.com/national-security/report-pentagon-paid-150-per-gallon-for-green-jet-fuel/
[22] http://www.defense.gouv.fr/air/defis/developpement-durable/developpement-durable
[23] http://tsahal.fr/2012/04/22/une-armee-de-lair-toujours-plus-verte/
[24] http://defenseetenvironnement.blogspot.fr/2011/02/armee-de-lair-et-developpement-durable.html

Complementary to standards and regulations, partnerships between public actors and companies are designed to give clear incentives to invest in low-consumption solutions. The objective is not to punish actors that are still polluting, but to prepare the future by pushing the market in the right directions, through a collaborative work on technological innovation and international standardization.

In Europe, the **CLEAN SKY project** was initiated in 2008 and represents a unique Public-Private Partnership between the European Commission and the industry. Clean Sky's research work is divided among six different platforms, called Integrated Technology Demonstrators, and each platform has two industrial leaders, such as Airbus Group, Thales, Safran or Rolls Royce. These leaders provide around 50% of the investment, while the rest is split among partners and associates, such as universities (EPFL de Lausanne, Delft University, Nottingham…)[25].

The 6 ITDs are covering the areas where technological innovation can play a significant role in the incoming years, such as smart fixed wing aircraft, green rotorcraft or even eco-design.

The CLEAN SKY project follows the goals settled by the ACARE, the Advisory Council for Aviation Research, whose objective is to reduce drastically the environmental impact of aviation by developing and implementing cutting-edge technologies for delivery by 2020 (50% reduction of CO2 emissions by significantly cutting fuel consumption, 80% reduction of NOx emissions, 50% reduction of external noise, green product life-cycles through design manufacturing, aircraft maintenance and disposal/recycling).

With regards to **air traffic management, the European SESAR Program** was founded in 2008. Granted with a budget of €2.1 billion, the program has the support of the European Commission and Eurocontrol, and benefits from contributions made by the manufacturing industry (Airbus, Thales) as well as air navigation service providers (Deutsche Flugsicherung, Aena, DSNA). These 2500 experts, coming from various horizons, have set themselves the target to reducing fuel consumption by 10% per flight.

In the U.S., the CLEEN program is developed by the Federal Aviation Administration and can be considered as the equivalent of CLEAN

[25] http://www.cleansky.eu/sites/default/files/clean_sky_a_success_story.pdf

SKY in Europe, even if the objectives are not exactly the same. Noise reduction, for example, is the priority, with a 32 dB cumulative reductions targeted in 2018. It also involves industrial partners, such as Boeing, General Electric, and Rolls-Royce, in addition to famous research centers, such as the University of Dayton Research Institute, or Georgia Tech.

To illustrate their commitment towards environmental protection, manufacturers are increasingly working on their compliance with non-mandatory norms, as did Airbus Group with the ISO 14001[26]. Furthermore, they collaborate with public institutions to establish these non-coercive norms, by offering their expertise in different working groups at national and international levels (within the French AFNOR for example).

It is crucial to notice that this way of addressing the environment issue is drastically **changing the way of doing business** for aerospace industrials, towards a more **collaborative innovation process**. In the global market, collaborative innovation **rewards all the companies that decided to aggregate their investment capabilities**. It is the best way for suppliers to survive in a very competitive environment, while **getting closer to the big companies** and regulating institutions[27]. This creates a major incentive for any aerospace industrial which does not want to risk missing any key technological innovation: it will be willing to invest as much as its competitors, therefore enhancing these programs. With regards to the environmental issue and the need for massive investments, this is definitely a **virtuous circle**.

The development of the A350 XWB, with composite materials (weight reduction of 200kg per passenger, better fuel-efficiency) and more silent engines (30% noise reduction), illustrates the success of such collaboration. The contribution of small companies that were suppliers of Airbus Group shall not be underestimated, and it strengthened their relation with the Original Equipment Manufacturer, which constitutes an interesting guarantee in a very competitive environment.

[26] http://www.iso.org/iso/fr/mag_browser?nodeId=15162724
[27] http://www.usinenouvelle.com/article/l-innovation-collaborative-une-voie-salutaire-pour-l-industrie-aeronautique.N320645

4. Technological innovation, the prerequisite to a successful sustainable evolution of the business model in aerospace

➢ Rationalization and improvement of current processes

Operations

- **Air Traffic Management** is allowed by Air Navigation Service Providers"[28], providing performance based navigation in real time, and taking into account weather conditions for an optimized and more direct route. By 2030, the airspace will be optimized through the implementation of **NextGen** in the US and the **SESAR** system (Single European Sky ATM Research Program) in Europe[29].
- **Surface management system** can result in significant fuel savings (the global short haul fleet burns 5 million tons of fuel per year through taxiing[30]). Many sustainable taxiing systems exist, such as the **EGTS Electric Taxiing System** which attaches an Auxiliary Power Unit Generator powering electric motors on the main wheels, saving airlines up to 4% of their total fuel consumption. Other solutions, such as external hybrid-electric tractors, will mostly become commonplace in airports worldwide by 2030.
- **Optimized Approach** consists in a continuous descent, therefore reducing noise and fuel burn, whereas standard airport approach paths involve a series of stepped descents. At the San Francisco International Airport, the combination of a **Precision Runway Monitor** and the **Simultaneous Offset Instrument Approach** led to increase the landing operations per hour, reducing delays by 25% and preventing planes from circling over the airport[31].

[28] "Environment Report". [PDF] *The Boeing Company* (2015). Available at: http://www.boeing.com/principles/environment/report.page [Accessed 20 Jul. 2015].

[29] « Plus d'avions, moins de pollution, l'incroyable pari de l'aéronautique ». 18 June 2015. [http://www.latribune.fr/entreprises-finance/industrie/aeronautique-defense/reduire-les-emissions-de-co2-du-transport-aerien-un-voeu-pieux-485149.html]

[30] Sustainable Taxiing. ATAG. [http://aviationbenefits.org/case-studies/sustainable-taxiing/]

[31] Waitz, I., Townsend, J., Cutcher-Gershenfeld, J.,Greitzer, E. & Kerrebrock, J "Aviation and the environment". [PDF] *Report to the United States Congress by the Massachusetts Institute*

Figure 4 : Air Traffic Management (*source : Airbus Environment - Sustainable Aviation Environmental Innovations – 2013)*

Aircraft disposal

Over the next 20 years, about 7,000 planes will have to be dismantled. The Aircraft Fleet Recycling Association (AFRA) organizes motorists and actors of the aerospace sector, and manages the dismantling of used planes. It is in charge of dismantling 150 planes/year, following this scheme: identification of materials, dismantling, depollution, recycling. Hazardous substances and radioactive materials are to be treated in accordance with the **REACh** regulation[32].

Airbus initiated the **PAMELA** (Process for Advanced Management of End of Life Aircraft) Program, allowing for the recycling of 80% of the aircraft. This project led to the creation of **Tarmac Aerosave**, a company specialized in recycling aircraft and recovering materials.

A sustainable manufacturing process

Along the whole production chain (from design to dismantling), aerospace production sites are gradually becoming environmentally certified. Boeing is for instance working towards a target of zero growth by 2017 in greenhouse gas emissions, water intake, and waste generation in facilities. At its Renton 737 factory, 100% of the electricity comes from

of Technology (2004). Available at : [www.web.**mit**.edu/aeroastro/partner/reports/congrept_**aviation**_envirn.pdf]

[32] "Aéronautique, espace et environnement : L'industrie aéronautique et spatiale française toujours plus mobilisée pour l'environnement". [PDF] *CORAC* (2011). Available at : [https://www.gifas.asso.fr/fichiersPDF/Publications/Publications/BROCHURE_ENVIRONNEMENT_FR.pdf].

renewable sources[33]. It also developed a chrome-free paint by Boeing (Boegel), to be used on the AH-64, H-47 and V-22 aircraft[34]. As stated before, Airbus obtained the ISO14001 environmental certification in 2007, covering its production sites, products and services throughout a lifecycle approach, and so did Dassault[35]. Meanwhile, the Blue5 initiative from Airbus has set environmental targets that will have to be attained by 2020.

➢ Technological evolutions

More efficient and less polluting engines

A Safran Open Rotor at the Paris Air Show 2015 (credits: Thomas Kefalas)

The continuation of ongoing technology research is expected to reduce fuel consumption over the next 15 years. The A380 is equipped with the Trent 900 engine, resulting in a 20% reduction in fuel consumption. Those engines are pushing the theoretical limits for such devices, so it is difficult to improve them without cutting-edge innovations.

LEAP is an example of highly efficient jet engines with large fan diameters which provide strength without higher weight. It is also more silent, and ensures 15% lower CO2 emissions, 50% lower NOx emissions, and a 75% reduction in noise pollution. It will be ready around 2020, while Airbus and Boeing are remotorizing their A320 and B737 (becoming A320 Neo and B737 Max) with those engines.

[33] "Environment Report". [PDF] *The Boeing Company* (2015). Available at: http://www.boeing.com/principles/environment/report.page [Accessed 20 Jul. 2015].

[34] "Environment Report". [PDF] *The Boeing Company* (2015). Available at: http://www.boeing.com/principles/environment/report.page [Accessed 20 Jul. 2015].

[35] La politique environnementale de Dassault Aviation. [http://www.dassault-aviation.com/fr/dassault-aviation/groupe/environnement/politique-environnementale/la-politique-environnementale-de-dassault-aviation/

Concerning noise, Airbus Group created the "**zero splice inlet**[36]", a device dramatically reducing the noise of the engine during takeoff and landing phases.

The Open Rotor (non-ducted) is another type of cutting edge innovation, allowing for 15% less fuel consumption than current CFM 56 engines[37]. These kinds of engines are to be placed at the rear of the plane, since they will be much wider. One of their disadvantages is the noise they produce, resulting from the absence of fan case to diminish the sound of the rotating blades. Ground tests will begin in early 2016, and flights tests will follow in 2019[38]. It is an option for 2030 as a replacement of turbofans.

Improved airframe

A solution for better aerodynamics would be a blended structure to increase the lift/drag ratio, as do the wings of the B-2 bomber[39]. The NASA has explored options for quieting the plane, with turbofans engines on the top of the plane's back end, flanked by two vertical tails (hence shielding people on the ground from the noise). Aerodynamics can also be improved with tail and wing technologies, applied to an existing aircraft to improve its performance. For instance, laminar flow wings with low drag surfaces increase the drag/lift ratio of the plane[40]. The A320 Neo, which will be available in 2030, will be equipped with sharklets, resulting in 15% less fuel consumption, 50% less NOx emissions and 15db below the limit of ICAO 4th chapter.

[36] Zero-Splice Air Inlet for Jet Engines. Airbus Group. [http://www.technology-licensing.com/etl/int/en/What-we-offer/Technologies-for-licensing/Green-Technologies/Zero-splice-air-inlet-for-jet-engines.html]

[37] L'open rotor, la nouvelle arme face aux chinois ? (Airbus, Boeing, Safran). July 15 2014. [http://www.latribune.fr/entreprises-finance/industrie/aeronautique-defense/20140708trib000839154/l-open-rotor-la-nouvelle-arme-face-aux-chinois-airbus-boeing-safran.html]

[38] Open-rotor engine may fly this decade. November 05 2013. http://www.imeche.org/news/engineering/open-rotor-engine-may-fly-this-decade

[39] Lewis, M. "Military aviation goes green" *Aerospace America*, september 2009. pp.24-31

[40] "Sustainable Aviation : Environmental Innovations". [PDF] *Airbus environment* (2013). Available at : [http://www.airbus.com/presscentre/corporate-information/key-documents/?eID=maglisting_push&tx_maglisting_pi1%5BdocID%5D=41103]

Hydraulic systems and pumps can be replaced by **electric systems**, which are lighter. **Composite carbon** is used for the structure of new aircraft, such as the Boeing 787 Dreamliner, Bombardier CSeries, and the Airbus A350 XWB. Messier-Bugatti launched a certification campaign for its carbon wheels and brakes, replacing iron ones and allowing for a gain of 320 kg per plane[41]. Technical ceramic will also compose the hot parts of the engine on the A320 Neo, resulting in a 200kg lighter plane[42].

Sustainable fuels

Alternative fuels must have a higher energy content than conventional hydrocarbons, they must be produced in a way not to harm the environment, and must share the same properties as traditional jet fuel in order to be quickly available for the existing fleet (drop-in fuels)[43]. The industry is working together on this topic, through the **Sustainable Aviation Fuel Users Group** and the **Roundtable on Sustainable Biofuels**, allowing a 50% blend of alternative fuel on commercial flights.

On February 24 2008, a Virgin Atlantic Boeing 747 flew from London to Amsterdam, while one of its four engines was powered by synthetic fuel. Eight months later, the USAF flew a B-52 that also burned a synthetic fuel blend. These alternatives fuels are produced using the **Fischer-Tropsch** process, converting coal into synthesis gas. This process has however been criticized, since its total CO2 output was twice that of conventional fuels, and it had a higher NOx emission.

Another alternative fuel could be hydrogen, whose combustion produces water, and which has three times the energy per kilogram of jet fuel. The Phantom Eye surveillance drone is powered by liquid hydrogen, but it is doubtful it will be used for commercial aviation[44]. This fuel must be

[41] Aviation civile, aviation militaire : des émissions carbones sous surveillance. August 25 2008. [http://defenseetenvironnement.blogspot.fr/2008/08/aviation-civile-aviation-militaire-des.html]

[42] "Aéronautique, espace et environnement : L'industrie aéronautique et spatiale française toujours plus mobilisée pour l'environnement". [PDF] *CORAC* (2011). Available at: https://www.gifas.asso.fr/fichiersPDF/Publications/Publications/BROCHURE_ENVIRONNEMENT_FR.pdf.

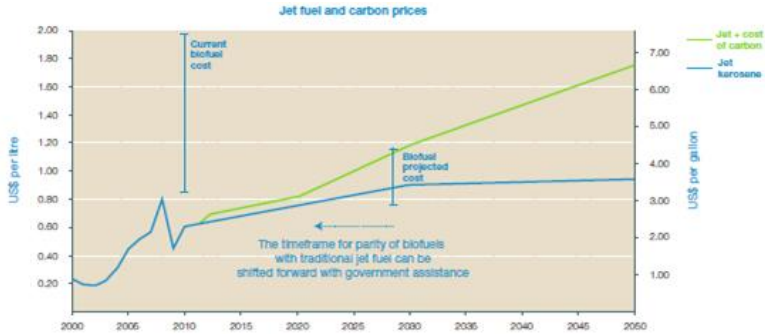
[43] Lewis, M. "Military aviation goes green" *Aerospace America*, september 2009. pp.24-31

[44] "Environment Report". [PDF] *The Boeing Company* (2015). Available at: http://www.boeing.com/principles/environment/report.page [Accessed 20 Jul. 2015].

stored as a liquid at temperatures below -253 °C though, and it is ten times less dense than fuel, which makes it very difficult to handle.

Biofuels can derivate from sugar (*Farnesane*) or tobacco (*Solaris*)[45]. They produce 80% less CO2 than crude oil, and consist of second-generation feedstock produced without negatively impacting food supplies. In December 2014, the Boeing EcoDemonstrator used a 15% blend of biofuel; and the US Navy's Naval Air Systems Command announced its first successful alcohol-to-jet supersonic flight, fueled by renewable isobuthanol[46]. According to SWAFEA (Sustainable Way of Alternative Fuel and Energy in Aviation), traditional biomass sources (agriculture, forestry) will not be sufficient to reduce the emissions of air transportation by 2030. Large volumes of biomass will be needed for a large scale use of biofuel. These resources can be extracted from algae, which grow more quickly than traditional crops and produce little carbon.

Figure 5: Jet kerosene price based on 25% markup over IEA's crude oil forecast in



Energy Technology perspectives 2010. Carbon price taken from UK DECC 2010 central case forecast for traded carbon price. Schematic, indicative diagram *(source: IATA Economics).*

Bringing electric power to air travel

[45] "Powering the future of flight". [PDF] *Air Transport Action Group* (2011). Available at : www.**atag**.org/component/downloads/downloads/152.html

[46] What's new, different and hot in military and aviation biofuels? February 19 2015. [http://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2015/02/19/whats-new-different-and-hot-in-military-and-aviation-biofuels/]

Airbus developed an aircraft with zero carbon dioxide emissions, the e-Fan plane, which operates on full electric batteries. It will be almost silent, and will be powered by 120 lithium-ion polymer batteries, running twin 30kw engines. It is made from lightweight composite materials. The E-Fan will be used for training at flight schools, and it is hoped that E-Fan 2.0 will make its first flight in 2017. The E-Fan 4.0 (a larger plane) will be developed in 2019. The objective for 2030 is to make a hybrid-electric 100-seater, but beforehand battery technology must be improved, meaning that more energy will have to be stocked with fewer mass[47]. It is therefore highly unlikely that full-size commercial aircraft will be completely battery-powered by 2030.

Developing Game Changing innovations is not sufficient, they need to be viable in the long run too

Designing new aircraft and developing heavy technologies is a long process and the increasing airline demand means the industry relies on updates to existing products rather than dramatic changes to keep up with high deliveries rate at low costs[48]. In order for industrials to cope with the need for innovations, they will need to fund these technologies on a collective basis, because of the high costs induced and the complexity of the products (as did Boeing and Embraer in Brazil, to develop new biofuels). Industrials need to think about a better integration of suppliers, which means not expecting the lowest prices possible from them, but rather giving them an incentive to innovate. These innovations will make the business model of aerospace industries evolve[49].

[47] « Plus d'avions, moins de pollution, l'incroyable pari de l'aéronautique ». 18 June 2015. [http://www.latribune.fr/entreprises-finance/industrie/aeronautique-defense/reduire-les-emissions-de-co2-du-transport-aerien-un-voeu-pieux-485149.html]

[48] Want major new aircraft designs? Wait until 2030. July 23 2014. [http://www.cnet.com/news/want-major-new-aircraft-designs-wait-until-2030/]

Environmental innovations will deeply impact the supply chain, since these new technologies will lead to the destabilization of the market. In a world destabilized by the need to adopt innovations in order to allow for the growth of aerospace, industrials will attempt to minimize the risks inherent to their supply chain by acquiring their strategic suppliers. Consolidation of the supply chain is therefore a credible scenario for 2030.

Conclusion:

Charles Lindbergh once said, "*If I had to choose, I would rather have birds than airplanes*". The goal of our paper is to prove that there is no need for such a difficult choice. Preserving the environment and promoting air traffic is not antithetical, if managed accordingly.

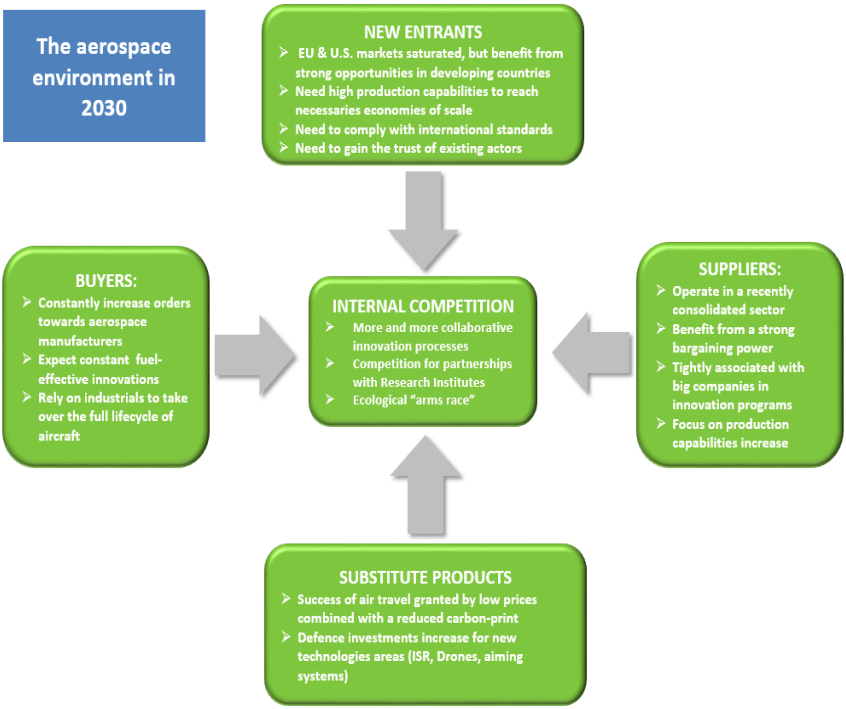
However, to reach this goal, we need to be able to predict the issues that will rise in the upcoming years, and this is not a simple task; it requires a 360° panorama, with economic, political, legal and technological notions. Moreover, it is necessary to understand how this specific business is functioning today, with regards to the distinction between military and civil dynamics.

Forecasts concerning the 2030's industrial landscape are still depending on multiple hypotheses. What will be the COP21 outcomes? Will international instability foster nations to increase their military expenses? Can industrial competitors accept to pool their investment capabilities, in order to build the eco-friendly solutions that the world expects? Can institutions create realistic standards and incentives for companies that will encourage them to play their part?

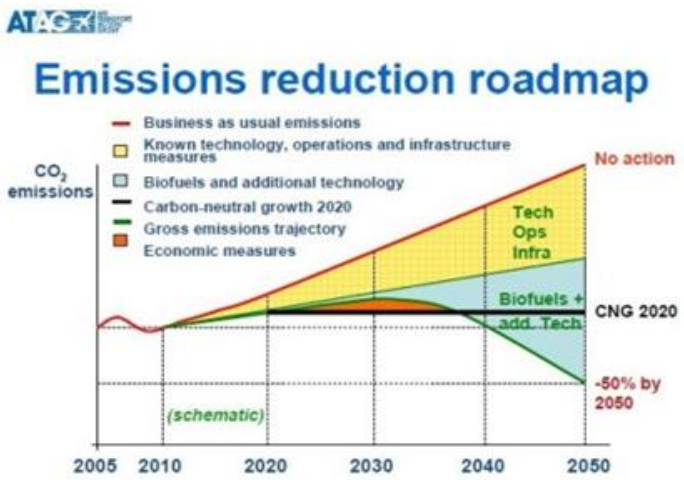
We tried in this report to gather some data and opinions that may give us a hint on all these questions. The increasing demand for aerospace industry is obvious; but its effective growth will depend on its ability to adapt its business model to upcoming challenges. We believe that dealing with the environment protection will be the key for companies to differentiate themselves from their competitors, and that is why we also believe that their current investments in tomorrow's fuel-effective technologies will determine their level of ambition in the long run.

As business school and political school students, we share the same observation: the way of looking at the purposes of a company is definitely changing. Companies do have a social responsibility, and they need to interact with institutions and non-profit organizations, to be accepted as a meaningful actor in today's society. Therefore, we believe that collaborative innovation programs, and public-private partnerships are the future of the aerospace industry.

Finally, in order to sum up the observations we made in this report, we tried to imagine what the strategic environment different actors would have to face fifteen years from now would look like. Not surprisingly, the environmental issue is a key strategic component of this revisited version of Porters' five forces analysis:



ANNEXE 1



The aviation industry's roadmap towards achieving 50% carbon emissions reduction by 2050 *(source: ATAG)*

ANNEXE 2

French Case Study :

« Au sein de l'Armée de l'Air française, les Commissaires des Armées sensibilisés à la préoccupation environnementale »

Résumé des entretiens passés avec les ex-Commissaires de l'Armée de l'Air Catherine Bourdès et Arnaud Mozgawa

Depuis la réforme des Armées entreprise en 2010, et qui fait suite au précédent Livre Blanc de la Défense de 2008, de nombreuses fonctions au sein de l'Armée ont été centralisées et placées sous la responsabilité des Commissaire des Armées.

Le statut du Commissaire est particulier : opérationnellement, il est inséré dans les armées, mais fonctionnellement, il relève directement du Ministère de la Défense. Une de ses fonctions est de transposer les règlements dans la zone opérationnelle dont il a la responsabilité. Ses préoccupations sont d'ordres financiers, comptables et juridiques, mais il est aussi en charge des questions environnementales. Par exemple, il gère les programmes d'économie d'énergie du site où il est affecté, ainsi que l'approvisionnement en fournitures courantes et services (par opposition aux programmes et marchés d'armement qui relèvent quant à eux de la responsabilité de la DGA). Cependant, son action ne doit pas entraver l'activité opérationnelle; il doit donc trouver un équilibre entre les différentes responsabilités dont il a la charge.

L'Armée de l'Air française s'est dotée de nombreuses innovations ces dernières années. La base d'Istres a réduit son empreinte carbone à l'aide de panneaux solaires, tandis que la base de Châteaudun se spécialise dans le démantèlement et le recyclage des avions en fin de vie, et que la base de Cazaux se concentre sur la protection des nappes phréatiques voisines. Si ces innovations ne se généralisent pas, ce n'est pas dû à une absence de volonté de la part des armées, mais plutôt à un manque de moyens à l'échelle nationale, explique le Commissaire Bourdès. La difficulté d'entretenir les infrastructures existantes a pour conséquence les trop nombreuses déperditions d'énergies au sein des 700 emprises militaires sur le territoire français.

Le Commissaire travaille en binôme avec le commandant et chef de site de la base aérienne. Celui-ci est responsable du bon voisinage avec les riverains, et se doit d'écouter et de résoudre éventuellement leurs doléances quant à la pollution sonore, ou aux atteintes à l'environnement. Il est donc tenu de sensibiliser l'ensemble des personnels sous son commandement à ces enjeux, et d'appliquer les directives de protection de l'environnement décidées par le ministère de la Défense (non-survol au-dessus des zones de reproduction des espèces protégées, protection des espaces naturels faisant partie du réseau Natura 2000…).

La sensibilité aux questions environnementales s'est accrue depuis 2009, explique le Commissaire Mozgawa, avec la prise d'importance

de la section biodiversité, et affecte notamment le carnet de commande adressé aux industriels. Par exemple, la SIMMAD (Structure Intégrée du Maintien en condition opérationnelle des Matériels Aéronautiques du Ministère de la Défense) s'est engagée à modifier ses clauses de sélections en faveur de matériels qui présentent le moins de substance nocives, comme l'amiante. Un focus sur les solutions provenant des PME françaises et respectueuses de l'environnement est aussi attendu de la part des Commissaires des Armées.

Face à des ambitions croissantes du Ministère de la Défense en termes de protection de l'environnement, le Commissaire est cependant limité par les ressources à sa disposition. Il est donc crucial pour ses fournisseurs de proposer des solutions innovantes à grande échelle, afin de pouvoir amortir le coût de son investissement. Une communication étroite avec les responsables opérationnels est aussi nécessaire, afin de comprendre à quelles difficultés ils sont confrontés dans la recherche d'une gestion respectueuse de l'environnement de leur base militaire.

Dans cette même dynamique, il est important de noter que le Ministère de la Défense avait émis au préalable une directive ministérielle des achats durables et environnementaux en 2007, mettant l'accent sur « la maîtrise des impacts sur l'environnement et le renforcement de la responsabilité sociétale du ministère vis-à-vis de ses parties prenantes ». L'évolution du rôle du Commissaire ne vient que confirmer la prise en compte croissante des enjeux environnementaux au plus haut niveau hiérarchique.

BIBLIOGRAPHY

PDF Documents

"Aviation benefits beyond borders". [PDF] *Air Transport Action Group* (2014). Available at : http://www.aviationbenefits.org/media/26786/ATAG__AviationBenefits2014_FULL_LowRes.pdf [Accessed 7 Jul. 2015]

"Aéronautique, espace et environnement : L'industrie aéronautique et spatiale française toujours plus mobilisée pour l'environnement". [PDF] *CORAC* (2011). Available at : https://www.gifas.asso.fr/fichiersPDF/Publications/Publications/BROCHURE_ENVIRONNEMENT_FR.pdf [Accessed 8 Aug. 2015]

"Boeing Current Market Outlook (2015-2034)". [PDF] *The Boeing Company* (2015). Available at : http://www.boeing.com/commercial/market/ [Accessed 10 Aug. 2015]

Bouvet, A., Gill, Nick. & Nadkarni, S. "The changing Face of the Aerospace & Defense Industry". [PDF] *Capgemini* (2011). Available at : https://www.de.capgemini.com/resource-file-access/resource/pdf/The_Changing_Face_of_the_Aerospace___Defense_Industry.pdf [Accessed 10 Jul. 2015]

Captain, T. "Aerospace & Defense Industry Outlook". [PDF] *Deloitte* (2014). Available at : http://www2.deloitte.com/us/en/pages/manufacturing/articles/2014-global-aerospace-and-defense-industry-outlook.html [Accessed 5 Jul. 2015]

"Climate Change 2007 : Synthesis Report". [PDF]. *Intergovernmental Panel on Climate Change* (2007). Available at : https://www.**ipcc**.ch/publications_and_data/ar4/syr/en/contents.html [Accessed 27 Jul. 2015]

"Compétitivité par rapport aux carburants conventionnels et disponibilité des ressources en biomasse : les deux clés nécessaires au déploiement des carburants alternatifs dans l'aviation". [PDF] *ONERA* (2011). Available at : www.onera.fr/sites/.../2011-0914-etude-swafea.pdf [Accessed 05 Jul. 2015]

"Environment Report". [PDF] *The Boeing Company* (2015). Available at: http://www.boeing.com/principles/environment/report.page [Accessed 20 Jul. 2015]

"Environmental Report : Aviation and Climate Change". [PDF] ICAO (2010). Available at : www.**icao**.int/**environmental**-protection/.../ENV_**Report_2010**.pdf [Accessed 10 Aug. 2015]

Kroo, I. "Sustainable Aviation : Future Air Transportation and the Environment". [PDF] *Stanford Aeronautics & Astronautics* (2008). Available at : https://aa.**stanford**.edu/events/50thAnniversary/media/Kroo.pdf [Accessed 02 Jul. 2015]

« Les grandes tendances 2015 de l'industrie aéronautique et défense ». [PDF] *Deloitte* (2015). Available at : http://www2.deloitte.com/fr/fr/pages/manufacturing/articles/les-grandes-tendances-2015-de-l-industrie-aeronautique-et-defense.html

Martinez, I. "Aerospace Engineering and the Environment". [PDF] (2015).

"Powering the future of flight". [PDF] *Air Transport Action Group* (2011). Available at : www.**atag**.org/component/downloads/downloads/152.html [Accessed 23 Jul. 2015]

Schubert, K. "Quels enseignements tirer des modèles économiques de croissance ?". [PDF] *Conseil économique pour le développement durable, Paroles d'économistes* (2012). pp. 7-11. Available at : http://www.developpement-durable.gouv.fr/Enjeux-de-long-terme-et-crise.html [Accessed 23 Jul. 2015]

"Stratégie de développement durable de la Défense 2010-2013". [PDF]. Available at : http://www.defense.gouv.fr/sga/le-sga-en-action/developpement-durable/strategie-de-developpement-durable/strategie-nationale [Accessed 15 Jul. 2015]

"Sustainable Aviation : Environmental Innovations". [PDF] *Airbus environment* (2013). Available at : http://www.airbus.com/presscentre/corporate-information/key-documents/?eID=maglisting_push&tx_maglisting_pi1%5BdocID%5D=41103 [Accessed 01 Aug. 2015]

Waitz, I., Townsend, J., Cutcher-Gershenfeld, J.,Greitzer, E. & Kerrebrock, J "Aviation and the environment". [PDF] *Report to the United States Congress by the Massachusetts Institute of Technology* (2004). Available at : www.web.**mit**.edu/aeroastro/partner/reports/congrept_**aviation**_envirn.pdf [Accessed 17 Jul. 2015]

Intended Nationally Determined Contributions

Enhanced Actions on Climate Change : China's intended Nationally Determined Contributions. Available at : http://www4.unfccc.int/submissions/indc/Submission%20Pages/submissions.aspx

Intended Nationally Determined Contributions of the UE and its Member States. Available at : http://www4.unfccc.int/submissions/indc/Submission%20Pages/submissions.aspx

United States' intended nationally determined contribution. Available at : http://www4.unfccc.int/submissions/indc/Submission%20Pages/submissions.aspx

Articles

"Actes des Ateliers du CESA : Le développement durable, un enjeu pour l'armée de l'air". *Penser les ailes françaises*, n°27, 2012. pp. 55-97

Bonin-Laurent E. (Lieutenant). "Protection de l'environnement et stratégie aérienne". *Penser les Ailes françaises*, n°21, 2009, pp. 28-39

Commission européenne, « Communication de la Commission au Parlement européen, au Conseil, au Comité économique et social européen et au Comité des régions – Stratégie pour une industrie européenne de la défense plus forte et plus compétitive ». Bruxelles, 2007, COM (2007) 764 final.

Eckstein, A. & Smets I."Aviation et écologie : le défi". *Europolitique : Le quotidien des affaires européennes*, Supplément au n°4092, novembre 2010.

Gliszczynski, F. « L'aéronautique, un secteur sur lequel le soleil ne se couche jamais (salon du Bourget) ». *La Tribune*, June 11th 2015.

Gradella, V. (Lieutenant). "Dossier développement durable". *Air actualités,* n°608 février 2008. pp. 22-39

Lewis, M. "Military aviation goes green" *Aerospace America*, september 2009. pp.24-31

Nijean, J-L. (Adjudant). "L'éco-conception prend son envol". *Air actualités*, n°650 avril 2012. pp 50-51

Shimbun, Y. "Zero emissions electronic airplane one of Paris Air Show highlights". *The Japan News* (21st June 2015).

Waitz, I., Lukachko, S. & Lee, J. "Military aviation and the environment : historical trends and comparison to civil aviation". *Journal of aircraft*, Vol. 42, N°2, March-April 2005. pp. 329-343

Digital resources

A320 Neo : une commande record pour Airbus. August 17 2015. [http://www.lesechos.fr/industrie-services/air-defense/021265313508-airbus-confirme-une-commande-record-de-250-a320-neo-1144886.php]

Answers to questions on capital's top topic. February 21 2013. [http://www.nytimes.com/2013/02/22/us/politics/questions-and-answers-about-the-sequester.html?_r=0]

Armée de l'air et développement durable. February 1 2011. [http://defenseetenvironnement.blogspot.fr/2011/02/armee-de-lair-et-developpement-durable.html]

Aviation civile, aviation militaire : des émissions carbones sous surveillance. August 25 2008. [http://defenseetenvironnement.blogspot.fr/2008/08/aviation-civile-aviation-militaire-des.html]

Budget 2015 : UK to meet Nato's defence spending target. July 8 2015. [http://www.bbc.com/news/uk-334488]

Comité de la Protection de l'Environnement en aviation (CAEP). |http://www.icao.int/environmental-protection/Pages/FR/CAEP_FR.aspx]

Comment la vente de Rafale à l'Egypte a-t-elle été organisée ? February 16 2015. [http://www.lemonde.fr/economie/article/2015/02/16/le-contrat-de-vente-du-rafale-a-l-egypte-en-cinq-questions_4577395_3234.html]

Développement durable. [http://www.defense.gouv.fr/air/defis/developpement-durable/developpement-durable]

ICAO under pressure to forge deal on aviation emissions. July 17 2014. [http://www.euractiv.com/sections/aviation/icao-under-pressure-forge-deal-aviation-emissions-303563]

La politique environnementale de Dassault Aviation. []http://www.dassault-aviation.com/fr/dassault-aviation/groupe/environnement/politique-environnementale/la-politique-environnementale-de-dassault-aviation/

Le succès du 51e salon du Bourget en chiffres. June 22 2015. [http://www.lemonde.fr/les-decodeurs/article/2015/06/22/le-succes-du-51e-salon-du-bourget-en-chiffres_4659349_4355770.html]

L'aéronautique, un secteur sur lequel le soleil ne se couche jamais. June 11 2015. [http://www.latribune.fr/entreprises-finance/industrie/aeronautique-defense/l-aeronautique-un-secteur-sur-lequel-le-soleil-ne-se-couche-jamais-salon-du-bourget-483314.html]

L'innovation collaborative, une voie salutaire pour l'industrie aéronautique. March 23 2015. [http://www.usinenouvelle.com/article/l-innovation-collaborative-une-voie-salutaire-pour-l-industrie-aeronautique.N320645]

L'open rotor, la nouvelle arme face aux chinois ? (Airbus, Boeing, Safran). July 15 2014. [http://www.latribune.fr/entreprises-finance/industrie/aeronautique-defense/20140708trib000839154/l-open-rotor-la-nouvelle-arme-face-aux-chinois-airbus-boeing-safran.html]

Open-rotor engine may fly this decade. November 05 2013. [http://www.imeche.org/news/engineering/open-rotor-engine-may-fly-this-decade]

« Paris Air Show goes green amid sluggish sales ». 14 June 2015. Available at [http://www.bbc.com/news/business-33092936]

« Plus d'avions, moins de pollution, l'incroyable pari de l'aéronautique ». 18 June 2015. [http://www.latribune.fr/entreprises-finance/industrie/aeronautique-defense/reduire-les-emissions-de-co2-du-transport-aerien-un-voeu-pieux-485149.html]

Public concern may turn volume down on military jets. 19 June 2013. [http://www.euractiv.com/specialreport-future-aviation-qu/noise-laws-govern-military-jets-news-528586

Report : Pentagon paid $150 per gallon for green jet fuel. March 7 2014. [http://freebeacon.com/national-security/report-pentagon-paid-150-per-gallon-for-green-jet-fuel/]

Sustainable Taxiing. ATAG. [http://aviationbenefits.org/case-studies/sustainable-taxiing/]

The DOE's shifting worldview for biofuels deployment, now through 2030. December 28 2014. [http://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2014/12/28/the-does-shifting-worldview-for-biofuels-deployment-now-through-2030/]

Une armée de l'air toujours plus "verte". April 22 2012. [http://tsahal.fr/2012/04/22/une-armee-de-lair-toujours-plus-verte]

Want major new aircraft designs ? Wait until 2030. July 23 2014. [http://www.cnet.com/news/want-major-new-aircraft-designs-wait-until-2030/]

What's new, different and hot in military and aviation biofuels. February 19 2015. [http://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2015/02/19/whats-new-different-and-hot-in-military-and-aviation-biofuels/]

Zero-Splice Air Inlet for Jet Engines. Airbus Group. [http://www.technology-licensing.com/etl/int/en/What-we-offer/Technologies-for-licensing/Green-Technologies/Zero-splice-air-inlet-for-jet-engines.html]

The Association of
United States and European
Aerospace Industry Representatives

Fondée en 1959 à Paris, l'Association USAIRE regroupe plus de cent cinquante représentants de des industries américaine et européenne des secteurs de l'aéronautique, de la défense et du high-tech. Elle est le seul forum permanent qui offre à ces acteurs clés une plate-forme d'échange.

Aujourd'hui USAIRE est un réseau transatlantique qui, au-delà de relations professionnelles et culturelles, a pour objet d'encourager le dialogue et la coopération entre les membres de l'association, d'initier et de consolider des liens avec l'ensemble des grands acteurs et centres de décisions français, européens et américains.

A travers l'organisation de déjeuners débats et de visites de sites, les membres de l'association enrichissent leur expérience et leur réflexion, par l'examen approfondi de sujets tant d'actualité que de prospective.

Débats et échanges se caractérisent par leur grande ouverture et se déroulent dans la confiance mutuelle.

En 1999, USAIRE a inauguré sa branche toulousaine qui regroupe de nombreux industriels de l'aéronautique en Aquitaine et Midi-Pyrénées.

USAIRE est présidé par Pascal Parant, Vice-Président corporate marketing, AAR Corp International.

USAIRE