



INGENIEURS
ET SCIENTIFIQUES
DE FRANCE

Les Cahiers

CAHIER N°18

La construction aéronautique en France : une industrie performante à pérenniser

Reproduction autorisée sans droit avec mention d'origine obligatoire

Ce cahier a été établi par le comité sectoriel « Aéronautique » des IESF.

Ont contribué à sa rédaction

Xavier BOUIS, président du comité ;

Jamal BOUMAZAA, Gérard DELALANDE, Jean-Claude HIRONDE, Marc NOYELLE,
Jean-Claude RIPOLL, membres du comité ;

Jacques ROUDIER, coordinateur des comités sectoriels des IESF.

Le groupe remercie Mme Anne Bondiou-Clergerie et MM. Alain Garcia, Gérard Gastaut, Robert Lafontan, Georges Ville, Patrick Wagner pour leurs initiatives, leurs apports, leurs commentaires ou leurs relectures à divers stades de l'étude.

Ingénieurs et Scientifiques de France (IESF)

La France compte aujourd'hui plus d'un million d'ingénieurs et quelque deux cent mille chercheurs en sciences. Par les associations d'ingénieurs et de diplômés scientifiques qu'il fédère, IESF est l'organe représentatif, reconnu d'utilité publique depuis 1860, de ce corps professionnel qui constitue 4% de la population active de notre pays.

Parmi les missions d'Ingénieurs et Scientifiques de France figurent notamment la promotion de la filière française d'études scientifiques et techniques, le souci de sa qualité et de son adéquation au marché de l'emploi ainsi que la valorisation des métiers et des activités qui en sont issus.

A travers ses comités sectoriels IESF s'attache ainsi à défendre le progrès, à mettre en relief l'innovation et à proposer des solutions pour l'industrie et pour l'entreprise. Notre profession s'inscrit pleinement dans le paysage économique et prend toute sa part dans le redressement national.

SOMMAIRE

Sommaire	3
SYNTHESE ET ORIENTATIONS	4
Introduction.....	7
I. Comment en est-on arrivé là ?.....	9
II. Situation actuelle.....	10
III. Contexte européen et international.....	13
IV. Lien industrie-transport aérien	17
V. Les équipementiers et sous-traitants aéronautiques, méconnus et pourtant majoritaires	19
VI. Forces-Faiblesses-Opportunités-Menaces.....	21
VII. Comparaison construction aéronautique - construction automobile	23
VIII. Les axes d'innovation technologiques	25
IX. Recommandations	27
Conclusion	30
ANNEXES	31
Annexe 1. Les recommandations du rapport de l'OPECST sur « les perspectives d'évolution de l'aviation civile à l'horizon 2040 »	32
Annexe 2. Les recommandations du rapport de l'AAE sur « l'avenir de l'industrie aéronautique et spatiale européenne »	33
Annexe 3. La R&D aéronautique en France et en Allemagne	34
Annexe 4. Les sous-traitants et équipementiers de la construction aéronautique	38
a. Les acteurs de la « <i>supply chain</i> ».....	38
b. Comment vit la « <i>supply chain</i> » ?.....	39
c. Recruter.....	40
d. Investir	41
e. S'organiser.....	41
f. Faire moins cher.....	42
Annexe 5. Comparaison construction aéronautique - construction automobile.....	43
a. Des « poids lourds » de l'industrie française	43
b. Les produits sont-ils comparables ?.....	43
c. Un besoin d'innovation partagé, mais avec des motivations différentes	44
Annexe 6. Les technologies prometteuses à faible niveau de maturité.....	45
Annexe 7. Les niveaux de maturité technologique	48
Annexe 8. Glossaire	49

SYNTHESE ET ORIENTATIONS

L'industrie aéronautique et spatiale française¹ se caractérise en 2013 par :

- un chiffre d'affaires de près de 48 Md€, dont les trois quarts dans l'aéronautique civile ;
- près de 80% du chiffre d'affaires réalisé à l'exportation, conduisant à un excédent commercial de 22 Md€ ;
- près de 180 000 emplois et plus de 300 000 avec les sous-traitants², en croissance continue ;
- 14% du CA consacré à la recherche et l'innovation.

L'industrie aéronautique française, qui se situe ainsi au tout **premier plan mondial**, est actuellement **prospère**, dans tous les segments du marché (avions de ligne, avions d'affaire, hélicoptères, aviation militaire).

Cette situation est le fruit de la conjonction continue dans le temps, depuis la fin de la guerre, d'une **volonté politique forte**, d'une **politique d'alliances industrielles réaliste** et d'une **stratégie industrielle clairvoyante**, conduisant principalement à :

- développer, pour les gros porteurs, une gamme complète de produits compétitifs et gagner ainsi sa place dans un duopôle (Airbus-Boeing) apprécié par les compagnies aériennes ;
- développer, pour les avions d'affaires, une famille haut de gamme ;
- adopter une démarche continue de recherche et d'innovation adossée à une base technologique au meilleur niveau mondial.

Il est naturel de se demander comment **rendre ce succès durable**, et ancrer ainsi solidement ce pan de l'industrie nationale dans la croissance mondiale, dans le contexte actuel de mondialisation, de développement ambitieux des pays émergents, de perspectives à long terme très favorables pour l'aéronautique civile mais aussi d'effritement continu du tissu industriel français.

La réflexion menée dans le cadre des IESF aboutit aux recommandations qui suivent, pour atteindre cet objectif.

- ✓ L'industrie aéronautique française doit continuer à **faire prévaloir les préoccupations du long terme dans ses choix stratégiques**, s'agissant d'une industrie de cycle long.
- ✓ Sa position est très liée à la **maîtrise des technologies les plus avancées et à l'innovation**, position qu'il est crucial de maintenir, ce qui implique de :
 - poursuivre **l'effort de recherche à un haut niveau**, en le faisant partager au long de la chaîne des sous-traitants, en en réduisant la dispersion entre laboratoires, en en renforçant la cohérence et la gouvernance³, en le faisant bénéficier d'un **soutien étatique régulier** qui soit au niveau de celui pratiqué dans les grands pays concurrents ; en ce sens, l'exemple allemand est à méditer ;
 - conserver une approche suffisamment **innovante** dans les différents choix technologiques, en restant à **l'écoute des ruptures potentielles** ;

¹ Dans tout le présent « Cahier » les mots « Industrie aéronautique » sont utilisés dans leur sens courant en France (voir sites GIFAS, Développement durable, etc.) voisin de « Construction aéronautique » n'incluant donc pas le « Transport aérien » qui fait cependant l'objet d'un court chapitre compte tenu de ses liens avec la construction.

² Et, avec un multiplicateur de valeur ajoutée record de 4,8, un nombre considérable d'emplois induits (note de conjoncture INSEE mars 2012)

³ S'appuyer sur le CORAC, réunissant les acteurs de la R&T, écouté par les politiques, déjà cité en exemple en Europe.

- bien identifier les **enjeux du futur du transport aérien** (bruit, énergie fossile, productivité et réduction des coûts de disposition pour les compagnies aériennes), afin de développer des produits y répondant.

La conception et la réalisation de grands **démonstrateurs** validant, au rythme du marché, l'intégration de technologies innovantes sont, en vue des objectifs ci-dessus, des points de passage obligés.

- ✓ L'avion, avec tous ses équipements, en interaction avec son environnement naturel, constitue un **système complexe**. Les grands constructeurs français sont au meilleur niveau mondial dans la **maîtrise de ce système**, notamment grâce aux outils numériques développés. Il est essentiel pour leur avenir qu'ils conservent leur avance dans la maîtrise de l'approche « système complexe » appliquée à la conception, au développement expérimental, à la fabrication à la maintenance et à tout le cycle de vie de l'aéronef.
- ✓ Dans le même temps, la qualité de l'industrie aéronautique tient aussi à sa **maîtrise des processus industriels de fabrication**. La poursuite d'efforts de **compétitivité et de réduction des coûts** reste nécessaire pour les industriels français. Pour autant, il nous paraît important que les industriels constructeurs de premier rang conservent, même dans le cadre d'un fort degré de sous-traitance et de certaines délocalisations dans des pays à plus bas coûts, la **connaissance et la compétence sur l'ensemble des composants critiques mis en œuvre et des processus mobilisés**. L'existence d'un dispositif permanent **d'échange d'informations et de retour d'expérience**, du bureau d'étude à l'atelier, est déterminante.
- ✓ Il en va de même des **liens entre constructeurs et sous-traitants**, pour lesquels une **approche de « filière » sur des bases pluriannuelles** est hautement souhaitable.
- ✓ L'impératif d'amélioration de la compétitivité concerne aussi les sous-traitants. Il se double d'un besoin de **renforcement de leur taille** et de **consolidation de leur surface financière** qui les mettent en position de **diversifier leurs clientèles à l'export** et d'accroître leur **effort de recherche et d'innovation**. L'existence de forts sous-traitants, au sein d'un tissu industriel dynamique, est à long terme une des **conditions de survie** de tout le secteur. Le risque de rachat suivi à terme de l'exfiltration de « pépites » technologiques économiquement fragiles n'est pas à négliger.
- ✓ La réussite de l'industrie aéronautique repose largement sur la qualité des **compétences humaines** qu'elle trouve dans notre pays, au niveau des bureaux d'études comme des usines de montage. Ses besoins en **ingénieurs et en techniciens très qualifiés** sont importants, ce qui implique de :
 - valoriser les métiers techniques (rémunération, image... des ingénieurs aux compagnons) ;
 - développer l'appareil de formation correspondant ;
 - incorporer une ouverture internationale des recrutements et des carrières, compte tenu du caractère mondial du marché comme des acteurs de premier rang ;
 - préparer et encourager les métiers à l'externalisation.
- ✓ La question de la **compétitivité française** sur la durée n'est pas une vaine question, même pour le secteur aéronautique, et mérite attention. Dans la concurrence internationale, elle se pose à trois niveaux, tout aussi importants les uns que les autres :
 - celui de la concurrence frontale des industriels français ou européens avec les grands ensembliers mondiaux, nord-américains ou de pays à moindres niveaux de salaire ;
 - celui de la concurrence via la performance de la chaîne des sous-traitants, nationaux et/ou externalisés dans des pays « low cost » ;

- celui, plus implicite, de la concurrence, au sein des groupements à implantation internationale comme Airbus, entre les lieux de leurs différentes implantations industrielles ou scientifiques.
- ✓ Il est également essentiel que les liens entre **aviation civile et aviation militaire** perdurent, en dépit des contraintes budgétaires pesant sur cette dernière, au moins en matière de R&T (recherche « duale »), de transfert d'innovation, de contribution à la taille critique pour le secteur.
- ✓ Enfin, il serait souhaitable de s'organiser pour accroître l'influence de la France dans l'établissement des normes.

L'essentiel de ces recommandations tient donc en deux thèmes :

- I. conserver et accroître l'avance technologique
- II. consolider un tissu industriel fragile

I. Conserver et accroître l'avance technologique

- I.1. **Stratégie des « ensembliers » : avoir une vision à long terme dans les décisions ; développer l'intelligence économique ; être attentif aux nouveaux entrants, à ne pas sous-estimer**
- I.2. **Recherche et développement : lier bureau d'études et chaînes de production ; fédérer les efforts autour du CORAC et de l'ONERA ; se donner les moyens pour faire passer au bon moment les innovations au stade de prototype (passage de TRL3 à TRL6 via des démonstrateurs) ; ne pas manquer les ruptures technologiques**
- I.3. **Etat : conserver une aéronautique militaire en Europe ; faire preuve de fermeté dans les négociations internationales (OACI, compensations, certification, etc.) ; avoir une politique industrielle aéronautique suivie et sanctuariser son financement (interministériel)**

II. Consolider un tissu industriel fragile

- II.1. **Ensembliers : améliorer fortement et rapidement la productivité ; avoir une vision long-terme de la « supply-chain » dépassant le souci du retour immédiat ; développer contrats de filière et partenariats favorisant la préparation technologique et la compétitivité**
- II.2. **PME et ETI : grossir, fusionner, s'allier, exporter, innover**
- II.3. **Stratégie nationale : établir des conditions de compétitivité et un climat de confiance pour les entrepreneurs et la R&T ; encourager l'investissement dans les PME et ETI ; réduire la vulnérabilité financière des « pépites », stimuler l'attrait pour l'entreprise et les métiers techniques**
- II.4. **Régions : favoriser les synergies entre tous les acteurs, notamment les petits, en s'appuyant sur la connaissance détaillée du tissu local (pôles, etc.)**

INTRODUCTION

Devant l'importance croissante de l'industrie aéronautique dans l'économie française, Ingénieurs et Scientifiques de France (IESF) ont créé fin 2011 un comité sectoriel « aéronautique »⁴. Celui-ci s'est fixé pour objectifs d'une part de répondre aux interrogations des jeunes ingénieurs sur leur futur métier, et aux questions « sociétales » fréquemment posées et d'autre part d'analyser les raisons du succès éclatant de ce secteur et les conditions de sa pérennité.

Le présent document présente la synthèse d'une année de réflexion de ce comité sur ce dernier sujet. S'appuyant en particulier sur les documents de l'Académie de l'Air et de l'Espace (AAE) « Comment volerons-nous en 2050 » et « Quel avenir pour l'industrie aéronautique et spatiale européenne ? », sur des documents émanant du GIFAS, de l'ASD, de l'Association aéronautique et astronautique de France (3AF), sur le rapport de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST)⁵, dont les recommandations figurent en annexe 1, et sur l'interview de personnalités du monde aéronautique, le comité est en mesure de présenter un constat optimiste sur la situation actuelle et d'avancer quelques recommandations pour que celle-ci perdure.

Le succès est en effet éclatant : l'industrie aéronautique est **le seul grand secteur industriel** français dont la **balance export/import est très largement positive** (environ **20 milliards d'euros par an d'excédent, 75% du chiffre d'affaire consolidé à l'export**) loin devant l'agroalimentaire, le luxe, la pharmacie etc. sans parler de l'automobile, naguère fleuron de notre industrie, encore fort exportatrice mais concurrencée sur le marché intérieur, qui aujourd'hui présente une balance négative et lutte pour sa survie (voir le cahier IESF n° 14 : « Crise automobile - Stratégies des constructeurs et équipementiers et régulations publiques »). Pour mémoire, la facture pétrolière et gazière plombe de 70 milliards d'euros/an le solde du commerce extérieur français⁶.

Ce secteur longtemps considéré comme modeste en termes d'emplois, est aujourd'hui tout à fait majeur, et se trouve même leader si l'on considère le nombre d'emplois hautement qualifiés. Il est le secteur le plus attractif, et de loin, pour les ingénieurs sortant d'école (Airbus, Dassault, Snecma, Thales, figurent parmi les dix premiers de l'enquête annuelle menée par les grandes écoles auprès de leurs élèves). 177 000 personnes travaillent dans l'industrie aéronautique et spatiale (*chiffres GIFAS avril 2014*) dont plus de 36 000 ingénieurs (*enquête IESF 2012*) et ce nombre qui avait chuté d'environ 50% depuis 1980 est en croissance nette (+8 000 en 2012 et + 3 000 en 2013). Si l'on ajoute les 140 000 personnes travaillant chez des sous-traitants des entreprises du GIFAS, ce sont 310 000 emplois qui relèvent de ce secteur, dans lequel l'aéronautique proprement dite est prépondérante ; ceci sans compter les emplois du transport aérien ni les emplois induits⁷.

En croissance continue depuis six ans en dépit de la crise, on peut dire que ce secteur ancre la croissance mondiale sur notre territoire.

Intégrée à l'industrie européenne par de multiples alliances qui contribuent largement à son succès, l'industrie aéronautique française a néanmoins sa personnalité propre qu'il est intéressant d'analyser pour comprendre ce qui la met sur le même plan que les fameux pôles d'excellence allemands que sont la chimie, l'automobile, les biens d'équipement... et l'aéronautique !

⁴ Curieusement, ce grand secteur centenaire, qui recrute plus de 10% des ingénieurs français n'était pas formellement représenté aux IESF !

⁵ Rapport sur « les perspectives d'évolution de l'aviation civile à l'horizon 2040 : préserver l'avance de la France et de l'Europe » par M. Roland Courteau, sénateur, juin 2013 (<http://www.senat.fr/rap/r12-658/r12-6581.pdf>)

⁶ Source : statistiques douanières : <http://www.douane.gouv.fr/data/file/8101.pdf>

⁷ Ces chiffres ne concernent que l'industrie, le spatial occupant environ 15% des effectifs. On verra plus loin que le transport aérien (Air France, les aéroports etc.) procure un volume d'activité du même ordre.

Face à la mondialisation et à l'ambition de pays émergents qui conduisent une stratégie étatique offensive de croissance industrielle et face à l'effritement continu du tissu industriel français, **ce succès est-il durable** ? Comment en est-on arrivé là ? Que peut-on faire pour consolider et pérenniser cette brillante position, pour conserver voire augmenter nos parts du marché mondial ?

I. COMMENT EN EST-ON ARRIVE LÀ ?

Un peu d'histoire : la France est, depuis les origines, un grand pays aéronautique.

Dans l'enthousiasme créatif qui suit en France l'annonce du premier vol des frères Wright (1903) les prototypes abondent, les exploits se multiplient, Sup-Aéro est créée dès 1909. Avec plus de 50 000 avions produits pendant la première guerre mondiale, l'industrie française des moteurs et des cellules se place en 1918 au premier rang mondial. De 1918 à 1940, faute d'un marché civil ou militaire substantiel, faute aussi d'une vision stratégique de l'aviation comme arme à part entière⁸, celle-ci, tout en poursuivant ses progrès techniques et en soutenant les exploits des pionniers du transport aérien, ne put maintenir sa position de leader industriel...

Au sortir de la seconde guerre mondiale, on aurait pu croire la partie perdue pour toujours, tant les percées technologiques avaient été nombreuses entre temps chez les Alliés comme en Allemagne.

Le retour au premier plan peut être attribué à trois facteurs successifs :

- **une volonté politique forte, visionnaire, traduite en investissements étatiques majeurs**, de 1945 à 1975 pour relancer le secteur en s'appuyant sur la compétence de brillants et audacieux ingénieurs et entrepreneurs, et en faisant appel à de grandes coopérations internationales(exemples : Caravelle, moteurs Snecma ATAR, avions Dassault, prototypes Nord-Aviation, Concorde, Jaguar, Transall, lancement du premier Airbus, création d'infrastructures de recherche et d'essais de niveau mondial). Au-delà des « 30 Glorieuses » en France comme dans tous les grands pays aéronautiques, le secteur militaire a été le principal moteur de l'avance technologique, chez les assembleurs comme chez les sous-traitants et dans le monde de la recherche ;
- **une politique réaliste d'alliances industrielles** devant la nécessité tant pour investir que pour produire et vendre, d'acquérir une envergure « mondiale » (Airbus-Industrie, EADS, MBDA, CFM-I, Eurocopter, Dassault Falcon Jet) ;
- **une stratégie industrielle clairvoyante**, sur laquelle on reviendra dans ce document, consistant principalement à :
 - développer, pour les gros porteurs, une gamme complète de produits permettant de conquérir sa place dans un duopôle mondial ;
 - développer, pour les avions d'affaires, une famille haut de gamme ;
 - adopter une démarche continue de recherche et d'innovation adossée à une base technologique au meilleur niveau mondial⁹, sans trop céder à la facilité du « retour » immédiat¹⁰.

⁸ Décret du 1^{er} avril 1933 créant « l'Armée de l'Air »...

⁹ R&D, PME sous-traitantes, moyens d'essais, formations techniques etc. héritières de décennies d'efforts dans les hautes technologies, stimulés et financés également par les besoins et exigences militaires...

¹⁰ La stratégie des hélicoptéristes et celle des missiliers sont plus complexes à présenter . Il semble que les hélicoptères ont quelque difficulté à conserver leur part dans un marché en forte croissance mais où la concurrence est particulièrement vive !

II. SITUATION ACTUELLE

La situation actuelle est **bonne et même excellente** pour nombre des grands acteurs du secteur.

Chiffres Clés de l'Industrie aéronautique et spatiale, de défense et de sécurité française en 2013¹¹

- * 47,9 Md€ de chiffre d'affaires global (aéronautique, espace, défense et sécurité), en progression de 9%
- * 79 % du CA consolidé est réalisé à l'exportation
- * 73,1 Md€ de commandes globales reçues (aéronautique, espace, défense et sécurité)
- * 22 Md€ d'excédent commercial (sources Douanes)
- * 177 000 emplois¹² ; 13 000 recrutements, dont 3 000 emplois nets créés
- * 14% du CA consacré à la R&D, dont 70% autofinancés.

L'aviation civile est le secteur de loin le plus florissant, représentant en 2013 75% du chiffre d'affaires et 83% des prises de commandes.

Les ténors, connus du grand public, sont au **premier rang mondial** :

- Airbus fait jeu égal avec Boeing ;
- Eurocopter est premier mondial sur les hélicoptères civils¹³ ;
- Dassault brille sur son créneau d'avions d'affaires « haut de gamme » ;
- ATR est également leader sur les avions de transport régionaux à turbopropulseurs...

Leurs carnets de commandes représentent plusieurs années de production, jusqu'à sept années pour Airbus et trois pour ATR, sous réserve des annulations de commandes par les compagnies dont l'actualité récente vient de nous donner un nombre significatif d'exemples.

On notera que trois des quatre industriels précités sont totalement intégrés dans des **groupes européens**, donnant à ces ensembles une envergure mondiale et la puissance nécessaire pour se développer.

A leurs côtés, moins médiatisés, on trouve de grandes sociétés comme Safran/Snecma, qui par son partenariat stratégique avec General Electric se trouve au meilleur niveau mondial avec la lignée des moteurs CFM, et Thales, qui compte 36 000 employés en France dans le secteur aérospatial et défense et de nombreuses filiales à l'étranger et est l'un des rares non-américains dans le « top 10 » des équipementiers mondiaux... Dans le jargon de la profession on parle de ces sociétés comme de « *super Tier-one* » : sous-traitants d'une telle envergure qu'ils peuvent négocier de véritables partenariats avec les grands assembleurs mondiaux.

¹¹ Source : rapport annuel GIFAS 2013 :

https://www.gifas.asso.fr/sites/default/files/video/conference_de_presse_gifas_28_avril_2014.pdf

¹² Pour les seules entreprises adhérentes au GIFAS ; l'emploi de l'ensemble de la filière est estimé à plus de 310 000 personnes en France, incluant les sous-traitants et fournisseurs non adhérents.

¹³ Mais sa part du marché mondial serait en décroissance...

Au-delà de Thales, Safran, Zodiac, les **équipementiers français**, en général de taille bien inférieure à leurs concurrents nord-américains, forment un ensemble industriel méconnu mais tout à fait considérable avec 43% des effectifs des sociétés membres du GIFAS. Lancés pour la plupart, par les marchés étatiques militaires d'antan et la R&D associée, ils ne font pas que fournir les grands ensembliers français et/ou européens mais exportent aussi directement à leurs homologues voire concurrents internationaux (USA, Brésil, Russie, Chine etc.). Il semblerait même qu'ils soient aujourd'hui plus profitables globalement que les grands ensembliers, mais nombre d'entre eux (notamment ceux qui sont trop dépendants de l'export militaire) sont dans des situations fragiles.

Au-delà encore, se trouvent une **multitude de PME**, souvent hyperspécialisées mais souvent aussi excessivement tributaires d'un seul client national... Ce tissu industriel riche de savoir-faire, d'innovation, de qualité, de réactivité et de confiance fait la force des grandes nations aéronautiques mais souffre en France d'une grande fragilité économique, se réduit comme l'ensemble de l'industrie française¹⁴, et, paradoxalement, peine même actuellement à recruter ingénieurs, techniciens et compagnons, particulièrement dans les domaines de la mécanique.

Le **secteur militaire**, on l'a vu ci-dessus, ne représente plus actuellement que 15% des prises de commande en 2012. La situation semble bonne pour les missiles notamment depuis l'internationalisation du groupe MBDA¹⁵, et pour les hélicoptères militaires faisant l'objet de programmes multinationaux, mais fort délicate à terme, en dépit de compétences encore au meilleur niveau, pour les avions de combat, avec ou sans pilote à bord, et ceci non seulement pour Dassault mais aussi pour ses concurrents européens.¹⁶ Une belle occasion politique a été manquée dans les années 80 avec le Rafale et l'Eurofighter, il faut souhaiter que les européens s'unissent sur l'aviation de combat avant d'être menacés par des pays émergents et/ou de devenir dépendants des Etats-Unis...

Au-delà de ce risque clairement identifié, il y a celui d'une disparition de la fertilisation croisée entre civil et militaire sur les premiers maillons de la chaîne de la R&D (TRL 1 à 3)¹⁷ et les capacités de préparation technologique des sous-traitants : dans les grandes nations aéronautiques, la technologie militaire n'est jamais très loin... On entend dire qu'aujourd'hui le militaire est devenu chez les industriels français un centre de coûts alors qu'il conforte la marge et permet plus d'agressivité sur le marché civil chez les concurrents...

Les drones, secteur d'avenir où la France et l'Europe sont distancées sur le plan militaire¹⁸ mais actives sur le plan civil (plus de 30 constructeurs et 220 opérateurs civils français¹⁹) ne semblent pas devoir créer un chiffre d'affaire du même ordre que les aéronefs « classiques » mais, si la croissance de ces start-up se fait bien, créera une intéressante filière d'emplois de bon niveau. Il faut à cette occasion saluer l'évolution récente de la réglementation de l'espace aérien français qui, sous l'impulsion de la DGAC, a donné des ailes à tous ces entrepreneurs.²⁰

Enfin, il faut rappeler qu'au-delà de l'aéronautique, c'est toute l'industrie d'un pays qui profite de son rôle de pionnier, d'innovateur : les exemples sont innombrables mais en se cantonnant à ceux connus du grand public on citera les matériaux composites, les systèmes numériques complexes, la conception assistée par ordinateur, la réalité virtuelle etc.

¹⁴ La part de l'industrie dans le PIB français poursuit sa décroissance...35% en 1970, 18,8% en 2012, contre 20,6% au Royaume-Uni, 30,5% en Allemagne et 24,4 % sur l'ensemble de l'Union européenne (source : Banque Mondiale).

¹⁵ Filiale commune de Airbus Group (37.5%), BAE Systems (37.5%) et Finmeccanica (25%), spécialisée dans le domaine des missiles.

¹⁶ Actes du Forum « Sauver le futur de l'industrie de l'aviation de combat : que décider maintenant ? » sur le site de l'Académie de l'Air et de l'Espace <http://www.academie-air-espace.com>

¹⁷ *Technology readiness level* : définition en annexe

¹⁸ Le succès du démonstrateur de drone de combat nEUROn de Dassault Aviation ne doit pas cacher la faiblesse globale !

¹⁹ Voir <http://www.federation-drone.org>

²⁰ Arrêté du 11 avril 2012 relatif à la conception des aéronefs civils qui circulent sans aucune personne à bord, aux conditions de leur emploi et sur les capacités requises des personnes qui les utilisent - NOR: DEVA1206042A

Ce rôle de pionnier, d'innovateur découle très naturellement de l'effort de R&T²¹ mené en symbiose entre organismes de recherche, industriels et start-ups, autofinancé et aidé directement (subventions DGA et DGAC, recherches militaires) ou indirectement (crédit impôt-recherche, Instituts Carnot etc.) par l'Etat et dont il faut souhaiter la pérennité à l'instar de ce qui se fait dans toutes les grandes nations aéronautiques partenaires ou concurrentes (Allemagne, Etats-Unis, Chine, Brésil etc.). Les financements bancaires ne sont en effet pas orientés dans ce sens²², le retour sur investissement ne venant qu'à très long terme²³. Le développement au bon moment, calé sur une vision réaliste du marché, de démonstrateurs technologiques audacieux préfigurant les concepts de « demain » (2030 et au-delà...) est dans ce domaine éminemment souhaitable pour fédérer et entretenir les compétences de très haut niveau de la recherche amont jusqu'aux assembleurs et sous-traitants.

L'industrie aéronautique a été reconnue comme **une des 14 filières stratégiques** qui structurent la politique industrielle du pays. Le **CORAC**, créé en 2008, s'est imposé comme interlocuteur principal de la puissance publique en matière de recherche aéronautique civile. Le Comité stratégique de filière aéronautique (CSF aéronautique), qui regroupe les acteurs de l'industrie et de la recherche du secteur, les représentants des partenaires sociaux et ceux de l'Etat, suivant pour la R&T les recommandations du CORAC, a produit, en janvier 2013, son **Contrat de filière**²⁴ définissant les objectifs retenus par les partenaires de la filière et les actions pour les atteindre. Et une fraction substantielle des crédits des PIA²⁵ a pu être affectée aux sujets recommandés, en particulier à des plate-formes de démonstration technologiques.

²¹ R&T : Recherche et Technologie, incluant la forte contribution à la formation scientifique et à la recherche amont des établissements étatiques, au premier rang desquels l'ONERA (Office National d'Etudes et de Recherches Aérospatiales).

²² Sauf...aux USA où la politique de grands démonstrateurs donne confiance aux investisseurs !

²³ On rappellera l'exemple de Thomson, naguère lâché par la banque qui l'accompagnait depuis des décennies, car faisant trop de R&D... et devenu depuis le florissant Thales ! Ou le démarrage de l'aventure Airbus, soutenu par des esprits visionnaires en France et en Allemagne...mais décrié Outre-Manche puis « boosté » par une grande compagnie américaine séduite par son avance technologique !

²⁴ Voir :

http://www.dgcis.gouv.fr/files/files/directions_services/secteurs-professionnels/industrie/aeronautique/CFCSF-aeronautique.pdf .

²⁵ Programmes d'investissements d'avenir

III. CONTEXTE EUROPEEN ET INTERNATIONAL

Le marché du transport aérien s'annonce comme extrêmement porteur dans les prochaines décennies, tiré essentiellement par la croissance des pays dits « émergents » et en particulier l'Asie ainsi que par les développements de la mondialisation. Les grands industriels tout comme l'AAE dans son étude « Comment volerons-nous en 2050 ? » évoquent un doublement de la flotte mondiale d'ici à 2050, celle-ci passant d'environ 20 000 appareils à plus de 40 000. Compte-tenu du renouvellement nécessaire des avions, il faudra donc en produire environ 1 200 par an, dont les deux tiers dans les catégories « plus de 100 places » où règnent actuellement Airbus et Boeing²⁶. Cette prévision s'appuie sur la corrélation très forte qui existe depuis quarante ans entre l'évolution du PIB et l'accès au transport aérien. On pourrait penser que le coût du pétrole, inexorablement croissant à l'échéance de telles prévisions, briderait la croissance : les gains techniques correspondant aux objectifs écologiques et surtout les divers gains de productivité sur le coût d'exploitation en limiteront l'impact²⁷ ! La question se pose donc de « qui va profiter d'un tel marché ? ».

Le cas des compagnies aériennes étant évoqué dans un chapitre spécifique, on ne considère ici que l'industrie.

La première question qui se pose est « y-a-t-il place pour plus de deux compétiteurs sur le marché des gros porteurs ? ».

L'histoire semble démontrer que non et Georges Ville, cité dans le rapport de l'AAE, apporte à ce sujet des arguments chiffrés. Ceci étant, Airbus bénéficiaire dans les années 70 d'un environnement technique favorable et d'une politique industrielle ambitieuse, a réussi grâce à la réunion de technologies au meilleur niveau mondial²⁸ à se faire sa place sur un marché où dominaient déjà trois compétiteurs et à s'imposer avec Boeing comme l'un des deux gagnants. Les choses peuvent donc changer.

Mais qui dit que cette place est acquise « pour toujours » ? Les déboires de Boeing qui après avoir géré l'innovation à minima, s'est lancé massivement, avec le 787, dans des sauts technologiques et industriels²⁹, a donné des émotions à ses actionnaires, puis a renoué avec des bénéfices en croissance et a engrangé 5 à 7 ans (4 700 avions) de carnet de commande, montrent que même pour les plus forts, la vie de cette industrie n'est pas un « long fleuve tranquille »...

Les compagnies aériennes ont tout intérêt à maintenir une situation de duopôle, profitant ainsi d'une concurrence/émulation économiquement saine, assez simple à gérer techniquement, mais ne créant pas pour autant de rente de situation : un concurrent performant et crédible à long terme pourrait comme naguère l'a fait Airbus, éliminer l'un des membres du duopôle...

²⁶ L'aviation d'affaires s'ajoute à ce marché avec 2 000 à 3 000 livraisons par an dont plus du tiers d'avions à turboréacteurs. La taille des avions est plus modeste (de quelques places à moins de 20 places) mais le chiffre d'affaire des six principaux constructeurs totalise tout de même 17 milliards de \$ en 2012.

²⁷ Consommation de kérosène (jet-fuel) par siègexkm en forte baisse, limitant l'effet sur le prix du billet, et obsolescence des générations d'avions antérieures, devenant trop « gourmands » et incitant donc au renouvellement des flottes.

²⁸ Acquis de Concorde, voilures britanniques, systémiers français, vigoureuse recherche duale civile-militaire...

²⁹ Notamment la gestion de grands sous-ensembliers co-responsables...

De nouveaux concurrents

Et dans le même temps, chez les BRICS³⁰ forts de leur puissance économique croissante, de leurs immenses marchés intérieurs et de leur capacité, en achetant actuellement Boeing ou Airbus, à négocier des transferts de savoir-faire, la pression monte, pour l'instant sur des créneaux limités i.e. capacité 50 à 149 places, fuselage étroit à 4 ou 5 sièges de front (Brésil : Embraer 190/195 ; Russie : Soukhoï Superjet 100 ; Canada : Bombardier CSeries et CRJ NextGen familles de jets atteignant 100, 122, 149 places...) ; mais déjà avec le Comac 919 chinois (fuselage 6 sièges de front, moyen-courrier, 190 passagers), la compétition va être directe avec l'A320³¹ et l'A321...

De plus, certains de ces pays développent une aviation militaire forte, en passe si l'Europe ne réagit pas, de surclasser sa technologie (Soukhoï T-50 ; Shenyang J-31...censés appartenir à la 5^{ème} génération d'avions de combat...comme les F-35 JSF et F-22 Raptor aux USA...) ce qui inévitablement se traduira en termes de connaissance technologique (TRL bas) avec un effet à long terme sur le tissu industriel (ingénieurs, équipementiers, sous-traitants de haut niveau...).

Enfin, risque rarement évoqué, les gigantesques fonds souverains à la disposition de certains de ces pays peuvent être utilisés pour racheter des sous-traitants financièrement fragiles et en douceur, sur 5 à 10 ans, exfiltrer ensuite des « pépites » technologiques vers la concurrence...

La Chine réussira-t-elle à briser le duopole actuel ? La Presse a évoqué en mai 2014 un total de 400 commandes de Comac 919 avant le premier vol prévu pour 2015, dont un bon nombre hors de Chine, notamment chez Ryanair, et le marché intérieur chinois à lui seul est immense ! Le processus de certification, très laborieux pour les industriels déjà bien en place (il consomme autant d'heures de bureau d'étude que la conception de l'avion³²) jouera temporairement un rôle de frein pour les commandes à l'export... Mais la Chine tentera évidemment d'obtenir la réciprocité de sa propre certification avec celles de la FAA et de l'EASA... Une négociation technico-politique sans angélisme est en vue...

Que dire de la stratégie des Etats Unis ?

La fin de la guerre froide n'a pas sonné le glas de la volonté politique de maintenir l'aéronautique américaine au premier rang mondial : "...the United States will maintain its leadership in the sky and sustain aviation so that it remains a key economic driver and cultural touchstone for the nation"³³ C'est ainsi que les budgets de recherche, les programmes de démonstrateurs, et les investissements dans les infrastructures d'essais, même après une certaine rationalisation entre secteurs civil et militaire, restent d'un ordre de grandeur supérieurs à ce que l'on constate en Europe... Même si l'on peut se demander si la dépense n'est pas excessive³⁴, vu que les Européens tirent assez bien leur épingle du jeu, une différence d'effort de l'ordre de un à dix doit bien porter ses fruits un jour ou l'autre !... et elle les porte : si Airbus fait sensiblement jeu égal avec Boeing, le chiffre d'affaires de l'ensemble de la filière reste considérablement supérieur aux USA...

Faut-il s'attendre à des ruptures technologiques majeures ? Les grands avionneurs semblent penser que non, les chercheurs s'interrogent au vu des publications qui filtrent ici ou là sur des concepts carrément futuristes³⁵... Dans le tissu industriel aéronautique florissant des Etats-Unis, la surprise peut surgir d'équipes audacieuses nouvellement créées comme on l'a vu dans le spatial avec des lanceurs « low cost »³⁶...

³⁰ Brésil Russie Inde Chine Afrique du sud

³¹ Ce qui n'empêche pas Airbus d'avoir une usine d'assemblage d'A320 en Chine !

³² Source Dassault

³³ Voir http://www.nasa.gov/aero/strategic_vision/#.UnkRNOJKYqM

³⁴ On peut penser aux déboires du projet d'avion de combat JSF F-35...

³⁵ Nouvelles configurations d'avions de transport, propulsion répartie (semi-électrique), avion d'affaires supersonique (Aerion, Spike S-512), emploi massif de drones par les géants d'internet...

³⁶ Falcon 9 de SpaceX,

Et l'Allemagne ?

La question peut sembler déplacée tant les liens sont forts entre les grands partenaires européens... mais l'angélisme n'est pas de mise si l'on observe l'évolution des pouvoirs et des travaux dans Airbus depuis l'époque de l'A 300 et si l'on compare la vigueur et la **continuité** de l'effort de recherche allemand, doté d'un plan pluriannuel concerté (en apparence, du moins) entre industriels, scientifiques et pouvoirs publics, administré par le fort établissement de recherche aéronautique qu'est le DLR (7700 personnes), à l'éparpillement et au peu de lisibilité des efforts français en matière de recherche amont.

Le sentiment que la France a levé le pied en matière de recherche aéronautique se rencontre chez nombre d'interlocuteurs allemands, constatant le recul de la coopération avec l'ONERA... Il existe certes en France avec le CNES une forte agence spatiale gérant recherche et projets, comme le fait une partie du DLR³⁷, mais l'ONERA est loin d'être le pendant de la composante aéronautique du DLR ! Le CORAC ces dernières années a heureusement réussi à s'imposer et à tirer salutairement vers l'aéronautique des financements « de circonstance » (PIA essentiellement) dont il faut souhaiter à terme, la reconduction ! Mais le pilotage de grands programmes de recherche restera extrêmement difficile si DGAC, DGA et ONERA ne trouvent pas, à terme, sous son égide, un financement pérenne couvrant bien la gamme des TRL³⁸ ! L'investissement méthodique et continu dans les secteurs industriels porteurs à l'export³⁹ doit-il rester l'apanage de l'Allemagne ?⁴⁰

La construction aéronautique, objet de politique communautaire ?

La Commission Européenne ainsi que l'organisme de certification européen (EASA) jouent un rôle peu visible du grand public mais fort important pour les acteurs de l'industrie et du transport aérien. C'est ainsi qu'on les trouve en première ligne lorsqu'il s'agit de concurrence internationale (représentation à l'OMC, notamment sur les questions de distorsion de concurrence ; réglementation et certification de nouveaux appareils ; régulation du marché du transport aérien etc.).

Ils interviennent également pour préparer la circulation aérienne de demain (Ciel unique, projet SESAR) et dans une moindre mesure, car les budgets des états et des industriels sont d'un ordre de grandeur supérieurs, pour soutenir la recherche et la diffuser dans l'ensemble de l'UE⁴¹ (H2020 etc.).

Force est cependant de constater que :

- depuis l'élargissement de l'Europe, l'aéronautique n'est plus une cause partagée par tous les pays de l'UE ;
- l'EASA n'a pas officiellement de mission de soutien de l'industrie aéronautique européenne alors que c'est le cas pour la FAA.

Enfin, même si l'on semble s'éloigner du sujet, les questions d'environnement, de concurrence et de droit du consommateur traitées à Bruxelles font bien entendu partie du cadre qui s'impose à l'industrie et au transport aérien.

³⁷ Ceci étant, certains estiment que le DLR comme le CNES, à la fois juges et parties, favorisent leurs laboratoires au détriment de l'intérêt commun...

³⁸ On lira avec intérêt l'audition du président de l'ONERA par la Commission des finances de l'Assemblée Nationale, à propos du PIA : <http://www.assemblee-nationale.fr/14/pdf/cr-mec/13-14/c1314025.pdf> et celle du directeur de la DGAC <http://www.assemblee-nationale.fr/14/pdf/cr-mec/13-14/c1314016.pdf>

³⁹ On ne dit pas ici que le spatial doit être délaissé, mais on rappellera que dans le chiffre d'affaires du GIFAS, l'aéronautique représente 85% et le spatial 15%...

⁴⁰ Voir en annexe 3 une brève comparaison des R&D française et allemande

⁴¹ Ce rôle « centrifuge » pour la recherche, politiquement très correct, est assurément bien adapté à la recherche fondamentale mais discutable en aéronautique pour la recherche appliquée et plus encore pour les développements expérimentaux qui pour des aéronefs où tout réagit sur tout, demandent plutôt une concentration de personnels et de moyens, concentration qui se trouve sur quelques sites en Europe, et particulièrement en France pour l'aérodynamique...

De 2010 à 2012 la Commission européenne a présenté trois communications sur une politique industrielle intégrée visant à renforcer la compétitivité de l'industrie européenne, pour la croissance et la relance. Ces documents n'abordent pas, ou peu, les problématiques spécifiques de l'industrie aéronautique et spatiale.

Il a ainsi paru utile à l'Académie de l'air et de l'espace de « contribuer à ces réflexions en analysant les perspectives du secteur et en formulant à l'usage des pouvoirs publics des recommandations propres à conforter son développement ». Ce document⁴² de 125 pages, publié en 2013 fournit une mine d'informations et propose une série de recommandations figurant ici en annexe 2.

Ce chapitre sur le contexte international ne peut se conclure que par une sévère mise en garde : le succès est là, surtout pour le civil mais **faute d'une préparation de l'avenir à la hauteur des concurrences et enjeux mondiaux, pérennisant l'effort lancé par les PIA, et d'un sursaut du tissu industriel de la sous-traitance, la position confortable actuelle de l'industrie aéronautique française risque fort de s'effriter à échéance de dix à vingt ans...**

⁴² Dossier 36 de l'Académie de l'air et de l'espace « Quel avenir pour l'industrie aéronautique et spatiale européenne » (2013) www.academie-air-espace.com.

IV. LIEN INDUSTRIE-TRANSPORT AERIEN

Le transport aérien est, à l'instar de l'industrie aéronautique, une composante importante de l'emploi en France : Air France affiche un effectif de 102 000 personnes, dont la grande majorité travaille sur le territoire français, ADP (Aéroports de Paris) parle de plus de 100 000 emplois générés sur la plateforme de Roissy par l'activité de l'aéroport Charles de Gaulle, auxquels il faut ajouter tout le reste de l'activité aéroportuaire française. Sans compter les emplois induits au-delà, on voit donc qu'on se trouve déjà dans les mêmes ordres de grandeur que l'industrie⁴³. Ce sont donc près d'un demi-million de personnes qui travaillent d'une manière ou d'une autre pour la construction aéronautique et le transport aérien !

Les deux activités sont-elles aussi liées qu'elles peuvent l'être aux Etats-Unis où le marché intérieur des avions est déjà considérable ? A l'échelle européenne, si l'on ajoute les achats d'Air-France-KLM et de Lufthansa, sans parler des 100 autres compagnies européennes, leur poids commence à être visible dans l'immense marché mondial. Mais leur rôle est loin de celui d'autrefois, où les « compagnies de lancement » d'un nouveau modèle étaient traditionnellement nationales...

Il suffit pour le comprendre de voir la part relativement faible du coût d'achat et de l'entretien des avions dans le chiffre d'affaire ou le prix du billet : environ 10% pour l'achat, autant pour la maintenance, 30% pour le carburant et 50% pour tout le reste y compris les personnels, les achats divers, les frais d'aéroports et de contrôle aérien⁴⁴...

Ceci dit, les « 10% » ci-dessus représentent quand même des milliards d'euros par an pour des emplois qualifiés en France et en Europe.

Si, comme le craignent certains analystes⁴⁵, s'appuyant sur la comparaison des prix du billet d'avion selon les compagnies⁴⁶ et la tendance mondiale à la libéralisation des marchés⁴⁷, Air-France et une partie de l'activité de « hub » de Roissy⁴⁸ venaient à se réduire ou même à disparaître, des dizaines de milliers d'emplois très qualifiés se perdraient dans le secteur du transport en France, le solde du commerce extérieur serait impacté de quelques milliards, mais l'effet sur la construction aéronautique elle-même ne serait pas nécessairement dramatique, tant celle-ci joue maintenant sur le marché mondial.

On retiendra cependant que **la question de la compétitivité française**, évoquée à maintes reprises dans ce document centré sur la construction aéronautique, se pose à court et moyen terme de manière brûlante pour les différentes composantes du transport aérien national, nulle citadelle ne pouvant résister si elle ne s'y prépare pas suffisamment...

⁴³ Exemple : le chiffre d'affaires d'Airbus commercial en 2012 est de 36 MM€, celui d'Air France est de 26 MM€...

⁴⁴ Dossier 38 de l'AAE « Comment volerons-nous en 2050 ? » (2013).

⁴⁵ Rapport du Commissariat général à la stratégie et à la prospective « Les compagnies européennes sont-elles mortelles ? », piloté par Claude Abraham (juillet 2013 - [cgsp_rapport_compagnies_aeriennes_30072013.pdf](#)) et colloque AAE 2013 « Comment volerons-nous en 2050 ? ».

⁴⁶ Le prix moyen du billet au kilomètre-passager était en 2012 de plus de 15 c€ à Air-France contre moins de 10 c€ en moyenne mondiale.

⁴⁷ La commission Européenne a émis des vœux en 2012 pour « plus d'Europe » afin de lutter contre les pratiques déloyales de nouveaux entrants dans le transport aérien, mais cette bonne intention sera-t-elle politiquement suivie ?

⁴⁸ La situation géographique de Roissy en Europe et son potentiel d'extension permettent de garder confiance sur l'aspect « hub » : Paris CDG dispose d'une capacité potentielle égale à la somme de celles des aéroports de Londres Heathrow et de Frankfurt.

Au-delà, c'est tout le transport aérien européen qui doit, à moyen terme, évoluer en profondeur, avec une nouvelle répartition des rôles entre ses acteurs, avec, notamment « plus d'Europe » --mais quelle Europe ?-- dans les négociations internationales sur les « trois piliers » que sont la restauration de la sécurité juridique, l'espace aérien commun avec les pays voisins et les accords globaux avec les (grands) partenaires clés. La communication de la Commission européenne COM(2012) 556 du 27/09/2012 au Parlement et aux diverses instances européennes sur la politique extérieure de l'UE dans le domaine de l'aviation⁴⁹ passe en revue les questions vitales qui se posent au secteur et formule nombre de recommandations importantes...

Ceci étant, il faut rappeler que le transport aérien a un effet induit positif important dans la plupart des secteurs économiques et donc que sa vitalité ne concerne pas « que » le hub de Roissy et Air-France.

Ainsi par exemple, le transport aérien concourt à faire de la France la première destination touristique mondiale mesurée en nombre d'entrées (81 millions en 2012) avec un solde positif pour la balance des paiements de 8 milliards d'€.

L'INSEE indique que 960 000 personnes travaillent dans le secteur du tourisme en France (chiffre 2012). On estime que un tiers de ces touristes arrivent par avion et contribuent à la moitié du chiffre d'affaire touristique de la France.

Le transport aérien permet aussi à beaucoup d'entreprises ainsi qu'à beaucoup de familles une ouverture sur le monde indispensable et fructueuse, et contribue au positionnement de la France dans le développement du monde. L'existence de nombreuses lignes directes et du hub de Roissy y contribue directement : perdre cet atout porterait préjudice à la performance économique et culturelle du territoire.

Dernière minute avant publication du présent cahier : sur ce sujet de la compétitivité du transport aérien français, il faut signaler le rapport au gouvernement établi par un groupe de travail présidé par le député Bruno Le Roux, remis le 3 novembre dernier. Ce document, très complet⁵⁰, propose des voies d'amélioration, compatibles avec la législation européenne et l'ouverture des marchés, afin d'enrayer le déclin relatif du pavillon français, lequel ne prend pas la part qu'il pourrait prendre dans la croissance mondiale du trafic. Il donne également des chiffres frappants sur le poids considérable et méconnu du secteur aéronautique dans le PIB national (3% tous facteurs confondus) et enfin sonne l'alarme sur l'urgence d'une réaction collective et politique appropriée pour sauver tant qu'il est temps des centaines de milliers d'emplois qualifiés.

⁴⁹ Voir [http://ec.europa.eu/transport/modes/air/international_aviation/external_aviation_policy/doc/comm\(2012\)556_fr.pdf](http://ec.europa.eu/transport/modes/air/international_aviation/external_aviation_policy/doc/comm(2012)556_fr.pdf)

⁵⁰ Voir <http://www.brunoleroux.org/wp-content/uploads/2014/11/Rapport-de-Bruno-LE-ROUX-sur-la-competitivite%C3%A9-du-transport-aerien.pdf>

V. LES EQUIPEMENTIERS ET SOUS-TRAITANTS AERONAUTIQUES, MECONNUS ET POURTANT MAJORITAIRES

Airbus emploie directement un peu plus de 20 000 personnes en France, Dassault-Aviation 8 000 personnes, Airbus-Helicopters (ex-Eurocopter) un peu plus de 4 000 personnes. Ainsi la grande majorité des 310 000 personnes citées plus haut n'est pas chez les grands intégrateurs mais chez leurs sous-traitants, gros ou petits.

On notera, afin de mettre le sujet en perspective, que ces grandes entreprises ainsi que leurs principaux sous-traitants sont largement internationalisées et/ou diversifiées, le total de leurs effectifs mondiaux étant de l'ordre du triple des chiffres ci-dessus.

Depuis une vingtaine d'années, afin d'accompagner le succès, la croissance des carnets de commande et la recherche de la compétitivité mondiale, les intégrateurs européens⁵¹ ont quitté l'organisation dite « en silo » ou « en arsenal » qui prévalait à l'heure des pionniers, se sont réservé les fonctions de l'architecte avec conception générale, intégration des systèmes, et assemblage final, et ont cherché à sous-traiter autant qu'il était raisonnable tout ce qui n'était pas leur cœur de métier. C'est ainsi que s'est formée la **chaîne des équipementiers et sous-traitants aéronautiques** (ou « *supply chain* »), une nébuleuse d'entreprises, allant de fortes ETI⁵² jusqu'à de très petites PME/PMI, laquelle pour se développer ou survivre, a dû à son tour s'intéresser aux marchés export ...et à la délocalisation !

L'ensemble de cette nébuleuse représente⁵³ 10 000 à 20 000 entreprises et 70 à 80% de la valeur ajoutée du secteur.

La situation de cet ensemble, qui est détaillée dans l'annexe 4, fait apparaître :

- une demande soutenue, qui n'exclut pas une pression maintenue sur les prix, pouvant conduire à des délocalisations partielles, avec les problèmes de qualité des productions, qui y sont attachés ;
- des difficultés de recrutement de personnels qualifiés, notamment dans les métiers de la mécanique;
- des besoins d'investissement qui ont des difficultés à trouver les outils financiers nécessaires ;
- des questions de taille critique, conduisant à explorer toutes les formes de collaborations et de partenariats disponibles.
- la question plus vaste de la compétitivité des entreprises françaises ;
- mais aussi des « success stories » comme Zodiac ou Aerolia qui ont su rebondir après des difficultés et acquérir une envergure internationale.

On parle beaucoup des « grands » et c'est bien normal car l'accès au « marché » se fait par les aéronefs ; mais, sans les « petits », les premiers n'existeraient pas.

⁵¹ De même que Boeing...

⁵² Entreprises de taille intermédiaire

⁵³ Voir www.economie.gouv.fr/files/competitivite_et_innovation.ppt

Un tissu industriel qui permet de concrétiser les innovations puis d'en maîtriser la production ne se crée pas ex-nihilo et ne se reconstruit pas facilement s'il est détruit. Les processus, le savoir-faire individuel, toute une chaîne de compétences est nécessaire pour innover et tenir les niveaux de performance et de qualité de l'aéronautique⁵⁴. En « régime de croisière » sur de longues séries, on peut délocaliser et sous-traiter une partie substantielle de la production, moyennant une bonne formation et un temps de mise au point. Mais il ne faut pas perdre de vue la nécessité du dialogue multi-niveaux, du bureau d'études ou de la R&T jusqu'au sous-traitant de niveau n, éminemment favorisée par la proximité physique, la langue, et la culture technique.

C'est ainsi qu'il faut **soutenir les PME** du secteur, les aider à **atteindre une taille critique**, leur **donner une visibilité de carnet de commandes** donnant confiance à leurs banquiers, les pousser à **diversifier leur clientèle à l'export**, les encourager à **investir en R&T** (le Crédit d'impôt recherche et les aides régionales sont bien adaptés) adosser cette R&T aux projets des grands groupes, et donner envie aux jeunes d'entrer dans ces métiers, les former, et faire en sorte qu'ils s'y plaisent et soient moins tentés par l'attrait des grands groupes...

L'action du CORAC et celle du GIFAS, dans le cadre des démonstrateurs et d'Aero-PME⁵⁵ vont certainement dans le bon sens.⁵⁶

L'analyse pour la construction aéronautique recoupe très largement les conclusions et recommandations générales contenues dans le Cahier n°5 des IESF d'octobre 2011 « **Quelques propositions pour la ré-industrialisation de la France** »⁵⁷, comme dans le rapport « **Pacte de compétitivité pour l'industrie française** »⁵⁸ fait par Louis Gallois au gouvernement, en novembre 2012.

⁵⁴ Selon certaines sources consultées lors de la préparation de ce Cahier, en dehors de la question bien connue de la montée en puissance de la « supply chain » d'Airbus, qui semble bien se passer, des difficultés directement liées à la maîtrise de la « supply chain » se feraient sentir tant dans le secteur missilier que pour les hélicoptères...

⁵⁵ http://www.pactepme.org/uploads/blog/20130524_BonnesPratiques.pdf

⁵⁶ Le projet « Performances Industrielles » mis en œuvre dans le cadre du CFS aéronautique correspond également à cette logique mais son financement, eu égard à l'immensité du secteur, semble relever de l'incitation symbolique (22,3 M€ dont 7,8 M€ de financement étatique pour 400 PME sur deux à trois ans...).

⁵⁷ Voir http://www.iesf.fr/upload/pdf/cahier_n5.pdf

⁵⁸ Voir <http://www.ladocumentationfrancaise.fr/var/storage/rapports-publics/124000591/0000.pdf>

VI. FORCES-FAIBLESSES-OPPORTUNITES- MENACES

Le succès actuel de l'industrie aéronautique française n'exclut pas qu'elle présente aussi quelques faiblesses, qui méritent d'autant plus d'être identifiées et traitées qu'elles peuvent être génératrices de fortes difficultés à terme.

Forces	Faiblesses
<ul style="list-style-type: none"> • Tradition historique de la construction aéronautique • Intégration dans un ensemble européen, dans lequel l'industrie française occupe une place majeure (Airbus) • Position occupée sur le marché international, à jeu égal avec les américains surtout sur les marchés civils • Maîtrise par les ingénieurs de l'approche système, essentielle pour un objet très complexe comme l'avion • Maîtrise de l'ensemble du système de conception-production de l'avion, du bureau d'étude aux essais et à la chaîne de montage • Potentiel de la communauté scientifique française • Dualité civil-militaire qui donne avance technologique et un certain lissage des plans de charge • Proximité (géographie, culture, langue) des sous-traitants (même sans véritable intégration verticale), donnant une bonne entente sur les méthodes, la qualité, l'élaboration des normes... • Qualité de la formation des ingénieurs et des techniciens • Capacité à vendre des composants à l'exportation, vers d'autres constructeurs y compris américains (par exemple moteurs mais pas seulement) et de développer avec eux des coopérations • Richesse du croisement des cultures en Europe • Expérience des coopérations internationales sur un système aussi complexe et intégré que l'est un avion 	<ul style="list-style-type: none"> • Vision long-terme consensuelle entre l'industrie et la recherche, laissant peu de place aux potentialités de ruptures technologiques • Soutien français (et européen) à l'aéronautique, notamment au travers du soutien à la recherche et à l'innovation, peu lisible, dispersé, sous l'œil de quatre ministères • Pas d'équivalent en Europe des soutiens ambitieux existant en provenance du gouvernement américain (type NASA, DoD...) • Risques pour le long terme liés à des pratiques de réduction des coûts menées de façon brutale et sans discernement, en pouvant aller jusqu'à envisager la délocalisation des bureaux d'études (!) • Trop de papier pour documenter la Qualité (traçabilité) sur des composants non critiques (trop de norme tue la norme... défaut pas seulement français !) • Déficit d'attrait des métiers dits « manuels » en France, et des formations correspondantes • Déficit de vision européenne commune sur l'aviation militaire • Système bancaire français et investisseurs non orientés vers les besoins du secteur, et notamment ceux des équipementiers de taille intermédiaire • Fragilité des PME sous-traitantes et trop petit nombre d'ETI exportatrices • Faiblesse de l'intelligence technique et économique

Opportunités	Menaces
<ul style="list-style-type: none"> • Marché mondial en croissance • Défis majeurs à relever pour l'avenir du transport aérien, dont consommation d'énergie fossile et bruit, qui impliquent de nouveaux efforts technologiques importants • Externalisation judicieusement maîtrisée de la sous-traitance (délocalisation proche ou « <i>near shoring</i> ») • Hauteur actuelle de la marche à franchir par de nouveaux concurrents pour rejoindre le meilleur niveau mondial (gros porteurs et aviation d'affaires), ceci étant renforcé par les exigences de la réglementation (certification FAA-EASA) • Profiter de la phase actuelle entre grands développements pour accroître la hauteur de la marche en créant de nouvelles solutions et de nouveaux standards • Opportunité de construire une véritable aéronautique militaire européenne, condition de sa survie 	<ul style="list-style-type: none"> • Pays émergents d'abord sous-traitants puis concurrents (risque à la négociation de compensations technologiques trop étendues accordées pour conclure des marchés de vente) • Dynamisme de l'investissement, privé et étatique, aux USA, en Chine, au Canada et même au Royaume-Uni • Risque de désengagement financier de l'Etat français • Fragilité financière de pans entiers de la « <i>supply chain</i> »⁵⁹, pouvant se traduire par des faillites et des rachats par la concurrence étrangère pour exfiltration des « pépites » • Surprises technologiques (ruptures, saut d'une étape) concoctées par l'industrie américaine -, voire, plus tard, chinoise - qui n'auraient pas été anticipées • Disparition éventuelle rapide de l'aéronautique militaire française et européenne • Faute de développement de produit nouveau à court/moyen terme, risque de perte de compétence et du savoir • Perception sociétale négative du transport aérien (bruit, CO₂, aéroports encombrés...) • Perte de passion (intérêt du travail ?) et de reconnaissance chez les ingénieurs et techniciens du secteur • Risque de crises majeures (épidémies, terrorisme) affectant l'ensemble du transport aérien mondial plus durablement que le 11 septembre

⁵⁹ Chaîne des équipementiers et sous-traitants

VII. COMPARAISON CONSTRUCTION AERONAUTIQUE - CONSTRUCTION AUTOMOBILE

Avant de formuler des recommandations, il a paru intéressant de comparer construction aéronautique et construction automobile, cette dernière ayant fait l'objet du cahier IESF n° 14 : « Crise automobile - Stratégies des constructeurs et équipementiers et régulations publiques »⁶⁰.

Les éléments détaillés de cette comparaison sont contenus dans l'annexe 5.

L'aéronautique est un « poids lourd » de l'industrie française au même rang que l'automobile.

Les effectifs totaux et le nombre d'ingénieurs sont comparables, entre les deux secteurs ; par contre les résultats en termes de balance des paiements sont très contrastés : 15 à 20 Md€ d'excédent pour le premier secteur et 3 à 4 Md€ de déficit pour l'autre.

Même si l'on entend fréquemment citer dans les media les succès d'Airbus, le poids relatif de ces deux secteurs et leur importance en terme d'emplois et pour l'économie du pays, sont souvent perçus par le public comme nettement en faveur de l'automobile, reflétant, que l'industrie aéronautique, du fait peut-être d'une communication trop fermée sur elle-même, souffre d'un déficit d'image⁶¹.

Les produits sont-ils comparables ?

Si ces outils de transport partagent des objectifs de sécurité, de confort, de réduction d'empreinte écologique, d'amélioration de la compétitivité économique, s'ils poursuivent un processus continu d'amélioration à base de R&D, ils sont fondamentalement différents par leur niveau d'exigences en termes de performances technologiques et de fiabilité, par la nature de leurs acheteurs, par les volumes de production et, bien sûr, par leurs prix unitaires.

- **Exigences techniques** : un avion est un objet extraordinairement intégré, où « tout réagit sur tout » et où l'efficacité qu'elle soit économique ou militaire n'est obtenue qu'au prix d'une nette avance scientifique et technologique et d'une maîtrise peu commune des risques et marges de sécurité (conception et fabrication).
- **Fiabilité et durée de vie** : avec une durée de fonctionnement dix fois plus longue et un taux de défaillance grave de l'ordre de un par milliard d'heures, on se trouve dans un contexte profondément différent
- **Nature des acheteurs** : en aéronautique civile on est dans un contexte « Business to Business » où les coûts de possession, la consommation de kérosène et bien d'autres facteurs mesurables, mais la confiance également, sont déterminants dans le choix.
- **Prix unitaire**⁶² : typiquement 5000 fois plus élevé pour un avion... et prix au kg 50 fois plus élevé... mais comparable voire inférieur rapporté au siège x kilomètre (!)...

Construction aéronautique et construction automobile sont donc bien deux mondes techniques très différents.

⁶⁰ Voir http://www.iesf.fr/upload/pdf/cahier_12_automobile_vd.pdf

⁶¹ On remarquera qu'il ne figure même pas sur la page d'accueil de la direction la plus concernée du ministère du redressement productif !! <http://www.dgcis.gouv.fr/secteurs-professionnels/industrie>

⁶² Comparaison moyen-courrier A320 et voiture de milieu de gamme

Un besoin d'innovation partagé, mais avec des motivations différentes

Les deux produits sont des produits à évolution technologique permanente. Mais, pour aller à l'essentiel, l'avion doit, pour être compétitif, maximiser les performances quantifiables sans transiger sur la sécurité, et l'automobile doit minimiser ses coûts de fabrication tout en séduisant l'acheteur individuel...⁶³

Ainsi, pour les deux secteurs, les progrès techniques doivent se conjuguer avec les bons choix stratégiques, et ce, dans un environnement scientifique et un tissu industriel au meilleur niveau mondial. Mais si l'on doit souhaiter à l'automobile un sursaut incluant expansion internationale et reconquête du marché intérieur, il faut souligner que pour l'aéronautique l'enjeu est « **exporter ou périr** ».

⁶³ Les développements ci-dessus sont orientés vers l'aviation civile et l'automobile individuelle, mais les exigences techniques, les méthodes, les coûts etc. se retrouvent avec des variantes dans les autres secteurs de ces deux branches (aviation militaire, hélicoptères, poids-lourds et autocars, etc.)

VIII. LES AXES D'INNOVATION TECHNOLOGIQUES

Les axes d'innovation de l'aéronautique ont des points communs traditionnels, qu'il s'agisse d'avions de transport civil, d'avions militaires ou d'hélicoptères : ce sont les disciplines de base comme l'aérodynamique, les matériaux et structures, l'automatique, les technologies des moteurs, les méthodes de conception et de certification etc.

L'aviation de transport s'attache à ce qui doit lui permettre de rester en tête de la compétition sur ses enjeux majeurs : consommation par siège x km et bruit, le tout en continuant d'accroître la fiabilité, ce qui exige des recherches et des optimisations multidisciplinaires débordant très largement des disciplines ci-dessus. Ces points sont développés plus loin.

L'aviation de combat s'attache à combiner les performances et qualités de vol « traditionnelles » de l'avion avec la furtivité, l'emport d'armement et l'intégration d'un considérable système électronique qui aujourd'hui représente près de la moitié de la valeur de l'avion.

Le Conseil pour la recherche aéronautique civile (CORAC), créé en 2008, est le lieu de mise en cohérence des efforts de recherche et d'innovation dans le domaine aéronautique. Sa montée en puissance est un fait positif à saluer et dont on espère qu'il se maintienne à moyen-long terme.

Citons les huit recommandations faites par ce conseil, à ses débuts, en 2009 :

Recommandations générales du CORAC (2009)

- 1. Préparer la mise en place, à l'horizon 2011-2014, de grands démonstrateurs validant l'intégration des technologies dans des architectures innovantes.
- 2. Etudier les synergies possibles entre les recherches à finalités « défense » et celles à finalité « transport aérien ».
- 3. Pérenniser la dynamique engagée dans le volet aéronautique du PCRD depuis plusieurs années.
- 4. Se donner les moyens d'évaluer et de quantifier en permanence les performances environnementales qui peuvent être espérées des ruptures technologiques aujourd'hui envisagées par la feuille de route à l'horizon 2020
- 5. Dans le domaine des opérations aéroportuaires, renforcer les synergies entre compagnies aériennes, aéroports, services de la navigation aérienne et industrie.
- 6. Obtenir des secteurs spécialistes un renforcement des études et recherches visant à la compréhension et la modélisation de l'impact du transport aérien sur l'environnement et les mécanismes climatiques.
- 7. Mettre en exergue l'impact environnemental du transport aérien grâce à des indicateurs renseignés et entretenus régulièrement.
- 8. Favoriser la prise en compte des objectifs du CORAC par l'ONERA (prospective, concepts amont, identification des disciplines-clé, etc.)

On trouvera sur le site du CORAC⁶⁴ la feuille de route 2011⁶⁵ et des données plus techniques sur les réalisations prévues, en particulier les grands démonstrateurs (Avion composite, Avionique modulaire étendue, Cockpit du futur, Propulsion, Gestion optimisée de l'énergie, Hélicoptère du futur).

⁶⁴ Voir <http://www.aerorecherchecorac.com>

⁶⁵ http://www.aerorecherchecorac.com/uploads/entries/file/La_Feuille_de_Route_du_CORAC_2011.pdf

Sur le contenu technologique, il est intéressant de relever ce que l'Association aéronautique et astronautique de France (3AF) recommande pour la recherche à moyen-long terme. Onze thèmes sont mis en avant, qui sont développés dans l'annexe 6 :

1. Réduction des charges de vol ; technologies pour un avion instable certifiable
2. Simulation multi-physique haute performance
3. Matériaux hybrides et liaisons composites-métal
4. Batteries à ultra-haute capacité
5. Piles à combustible
6. « *Air traffic management* » permettant l'optimisation multicritères
7. Certification par calculs
8. Architectures d'aéronefs innovantes
9. Technologies pour aérodynamique à traînée réduite...vers une nouvelle aérodynamique des aéronefs
10. Propulsion distribuée
11. Hélices à très hautes performances et silencieuses.

Si l'on peut penser que les piles à combustible et les batteries à très haute capacité seront d'abord développées par des industries où les séries se comptent par millions et non par milliers, et donc que l'aéronautique pourra dans l'immédiat rester « suiveur » il est clair que les neuf autres technologies ne se développeront que dans un milieu profondément imprégné de culture aéronautique...

Ceci étant, le comité aéronautique des IESF ne peut qu'adhérer aux vues de 3AF, compte tenu de leur généralité, et estime qu'on peut ajouter pour mémoire des axes qui sans doute seront traités de toute façon, comme l'automatisation plus poussée de la conduite de l'avion (sous-entendue au thème 6 ?) et l'avionique modulaire intégrée mais aussi, comme proposé dans le « Contrat de la filière aéronautique » le renforcement de la filière matériaux, métalliques et composites (la filière matériaux étant traditionnellement mal considérée par les étudiants en France).

Enfin, le comité s'étonne de voir aussi rarement cité le mot « **productique** » : dans la compétition présente et à venir, si les technologies précitées sont essentielles, le coût de la production, objet d'efforts combinés des concepteurs et de la « supply chain », ne l'est pas moins. C'est un axe d'innovation technologique à part entière qu'il convient de soutenir. Le terme « usine aéronautique du futur » a fait récemment son apparition parmi les « démonstrateurs » du PIA. Souhaitons que ce volet du soutien gouvernemental aille dans ce sens ;

Cinq ans plus tard... si dans les années 2008-2010 on a pu avoir l'impression que beaucoup d'énergie était dépensé dans l'incantatoire, avec un foisonnement des dispositifs d'aide à la R&T, le **CORAC** créé en 2008 a fédéré le secteur, a été écouté des politiques. C'est ainsi qu'au titre du PIA1 (« Grand emprunt ») et avec l'aide de la DGAC, **tous les démonstrateurs proposés (budget d'environ 700 M€)** ont été lancés et que des résultats sont déjà au rendez-vous. En outre, dans le PIA2, majoritairement tourné, pour l'aéronautique, vers les avances remboursables du lancement de l'A350, trois actions d'envergure sont proposées, relatives à la production (Usine aéronautique du futur) aux opérations (Systèmes embarqués) et à la conception (plate-forme « Nouvelles configurations »). En parallèle, deux des 34 plans de la « Nouvelle France Industrielle »⁶⁶ sont orientés vers de sujets qu'on ne peut qu'approuver⁶⁷.

⁶⁶ <http://www.entreprises.gouv.fr/politique-et-enjeux/34-plans-industriels>

⁶⁷ Il s'agit des « logiciels et systèmes embarqués » et de « l'avion électrique et nouvelles générations d'aéronefs »

IX. RECOMMANDATIONS

Au moment de formuler des recommandations, il convient de souligner une nouvelle fois que la **construction aéronautique est une industrie de cycle long** :

- durée de développement d'un programme : 10 ans ;
- durée de vie d'un avion : 30 ans ;
- durée de commercialisation d'un modèle, avec ses déclinaisons : 30 ans, voire plus⁶⁸.

La France a su construire, depuis un siècle, dans ce secteur, une base technologique (recherche, infrastructures, bureaux d'études, production) qui lui donne, comme aux quelques grands pays aéronautiques « historiques », une précieuse avance qui ne se comble pas en un jour...

D'où les **recommandations** qui suivent et qui trouvent leur correspondance dans celles du CORAC :

- ✓ L'industrie aéronautique française est actuellement prospère, dans tous les segments du marché (avions de ligne, avions d'affaire, hélicoptères, aviation militaire) ; elle est au tout premier plan mondial, fortement exportatrice et, au travers d'Airbus, composante d'un consortium européen de plus en plus intégré. Elle doit continuer à **faire prévaloir les préoccupations du long terme dans ses choix stratégiques**.
- ✓ Cette position est très liée à la **maîtrise des technologies les plus avancées et à l'innovation**, position qu'il est crucial de maintenir, ce qui implique de :
 - poursuivre **l'effort de recherche à un haut niveau**, en le faisant partager au long de la chaîne des sous-traitants, en en réduisant la dispersion entre laboratoires, en en renforçant la cohérence et la gouvernance, en le faisant bénéficier d'un **soutien étatique régulier** qui soit au niveau de celui pratiqué dans les grands pays concurrents ;
 - conserver une approche suffisamment **innovante** dans les différents choix technologiques, en restant à **l'écoute des ruptures potentielles**⁶⁹ ;
 - bien identifier les **enjeux du futur du transport aérien** (bruit, énergie fossile, productivité et réduction des coûts de disposition pour les compagnies aériennes), afin de développer des produits y répondant ;

La conception et la réalisation de grands **démonstrateurs** validant, ni trop tôt, ni trop tard, l'intégration de technologies innovantes sont, en vue des objectifs ci-dessus, des points de passage obligés.

L'avion, avec tous ses équipements, en interaction avec son environnement naturel, constitue un système complexe. Les grands constructeurs français sont au meilleur niveau mondial dans la **maîtrise de ce système**, notamment grâce aux outils numériques développés. Il est essentiel pour leur avenir qu'ils conservent leur avance dans la maîtrise de l'approche « système complexe » appliquée à la conception, la fabrication et la maintenance. Ceci sera d'autant plus nécessaire que l'on poursuivra le développement et l'utilisation **de solutions connectées** pour les fonctions de commande et d'exploitation de l'avion.

⁶⁸ Des premiers développements à la maintenance des derniers exemplaires produits, il s'écoule donc une cinquantaine d'années !

⁶⁹ A titre d'exemple, on doit s'étonner que ni Airbus ni l'Onera n'aient en cours un démonstrateur d'aile volante, ou d'avion à propulsion très intégrée, concepts certes encore lointains mais que d'autres défrichent patiemment, bien qu'ils aient probablement accès à des technologies voisines comme sur le bombardier furtif B2...

- ✓ Dans le même temps, la qualité de l'industrie aéronautique tient aussi à sa **maîtrise des processus industriels de fabrication**, tant en termes techniques que économiques. La poursuite d'efforts de **compétitivité et de réduction des coûts** reste nécessaire pour les industriels français. Pour autant, il nous paraît important que les industriels constructeurs de premier rang conservent, même dans le cadre d'un fort degré de sous-traitance et de certaines délocalisations dans des pays à plus bas coûts, la **connaissance et la compétence sur l'ensemble des composants critiques mis en œuvre et des processus mobilisés**. L'existence d'un dispositif permanent **d'échanges d'informations et de retour d'expérience**, du bureau d'étude à l'atelier, est déterminante.
- ✓ Il en va de même de la **relation contractuelle entre constructeurs et sous-traitants**, pour lesquels une **approche de « filière » sur des bases pluriannuelles** est hautement souhaitable : elle permet, pour ses derniers, d'avoir de la visibilité sur les plans de charge et les prix et d'asseoir leurs efforts de recherche et d'investissement.
- ✓ L'impératif d'amélioration de la compétitivité doit impérativement englober les sous-traitants. Il se double d'un besoin de **renforcement de leur taille** et de **consolidation de leur surface financière** qui les mettent en position de **diversifier leurs clientèles à l'export** et d'accroître leur **effort de recherche et d'innovation**.
- ✓ La réussite de l'industrie aéronautique repose largement sur la qualité des **compétences humaines** qu'elle trouve dans notre pays, au niveau des bureaux d'études comme des usines de montage. Ses besoins en **ingénieurs et en techniciens très qualifiés** sont importants, ce qui implique de
 - valoriser les métiers techniques (rémunération, image) ;
 - développer l'appareil de formation correspondante ;
 - incorporer une ouverture internationale des recrutements et des carrières, compte tenu du caractère mondial du marché comme des acteurs de premier rang ;
 - préparer et encourager les métiers à l'externalisation.
- ✓ La question de la **compétitivité française** sur la durée n'est pas une vaine question même pour le secteur aéronautique et mérite attention. Dans la concurrence internationale, elle se pose à trois niveaux, tout aussi importants les uns que les autres :
 - celui de la concurrence frontale des industriels français ou européens avec les grands ensembliers mondiaux, nord-américains ou de pays à moindres niveaux de salaire ;
 - celui de la concurrence via la performance de la chaîne des sous-traitants, nationaux et/ou externalisés dans des pays « low cost » ;
 - celui, plus implicite de la concurrence, au sein des groupements à implantation internationale comme Airbus, entre les implantations industrielles ou scientifiques : il est important de ne pas oublier ce troisième volet pour l'avenir de la filière française, notamment vis-à-vis du partenaire allemand, la position de Toulouse, par exemple, n'étant pas acquise *ad aeternam*.
- ✓ Il est également essentiel que les liens entre **aviation civile et aviation militaire** perdurent, en dépit des contraintes budgétaires pesant sur cette dernière, au moins en matière de R&T (recherche « duale »), de transfert d'innovation, de contribution à la taille critique pour le secteur, les deux activités étant complémentaires dans toutes les « grandes » nations aéronautiques.
- ✓ Enfin, il importe de revoir fondamentalement le rôle et le mode de fonctionnement de l'**ONERA** avec son éventail d'activités, en regard de ses homologues étrangers. . La création du **CORAC** et le regain d'intérêt gouvernemental pour le secteur aéronautique offrent une belle opportunité d'y réfléchir et de se doter dans le même temps d'une structure pérenne de politique industrielle aéronautique, à la hauteur des ambitions du pays.

L'essentiel de ces recommandations tient donc en deux thèmes :

- I. conserver et accroître l'avance technologique
- II. consolider un tissu industriel menacé d'effritement

I. Conserver et accroître l'avance technologique

- I.1. Stratégie des « ensembliers » : avoir une vision à long terme dans les décisions ; développer l'intelligence économique ; être attentif aux nouveaux entrants, à ne pas sous-estimer**
- I.2. Recherche et développement : lier bureau d'études et chaînes de production ; fédérer les efforts autour du CORAC et de l'ONERA ; se donner les moyens pour faire passer au bon moment les innovations au stade de prototype (passage de TRL3 à TRL6 via des démonstrateurs) ; ne pas manquer les ruptures technologiques**
- I.3. Etat : conserver une aéronautique militaire en Europe ; faire preuve de fermeté dans les négociations internationales (OACI, compensations, certification, etc.), avoir une politique industrielle aéronautique suivie et sanctuariser son financement (interministériel)**

II. Consolider un tissu industriel fragile

- II.1. Ensembliers : améliorer fortement et rapidement la productivité ; avoir une vision long-terme de la « *supply-chain* » dépassant le souci du retour immédiat ; développer contrats de filière et partenariats favorisant la préparation technologique et la compétitivité**
- II.2. PME et ETI : grossir, fusionner, s'allier, exporter, innover**
- II.3. Stratégie nationale : établir des conditions de compétitivité et un climat de confiance pour les entrepreneurs et la R&T ; encourager l'investissement dans les PME et ETI ; réduire la vulnérabilité financière des « pépites » ; stimuler l'attrait pour l'entreprise et les métiers techniques**
- II.4. Régions : favoriser les synergies entre tous les acteurs, notamment les petits, en s'appuyant sur la connaissance détaillée du tissu local (pôles, etc.)**

CONCLUSION

Poule aux œufs d'or issue de la vision, de l'intelligence et de la détermination des générations précédentes ou colosse aux pieds d'argile menacé de l'extérieur par ses rivaux historiques et les nations émergentes, et de l'intérieur par l'effritement du tissu industriel français... ?

Profitant jusqu'ici de la mondialisation, et capable de continuer si les règles du jeu ne changent pas, notre belle industrie aéronautique ne poursuivra sa course dans le peloton de tête que si :

- elle préserve et accroît son avance technologique, donc investit dans les solutions d'avenir à armes égales avec ses concurrents ;
- elle reste en symbiose avec un réseau de sous-traitants locaux et lointains, qui progresse avec elle ;
- elle profite, au-delà de son propre secteur, d'un regain d'attrait et d'attention de la part des jeunes qui aujourd'hui tendent à s'éloigner des métiers techniques, et de la part des décideurs politiques peu enclins à se battre pour des délais de retour sur investissement se chiffrant en décennies.

Plus largement, cette indéniable réussite d'envergure internationale, peut constituer une référence pour identifier les facteurs de succès d'autres activités industrielles dans un pays comme le nôtre :

- investir dans des activités concernant des systèmes complexes et à fort contenu en technologies avancées ;
- faire une large part à la recherche et à l'innovation ;
- être attentif à l'évolution des besoins des clientèles, avec une vision mondiale du marché ;
- consolider un tissu diversifié d'entreprises, incluant équipementiers et sous-traitants, avec une large panoplie d'entreprises de tailles diversifiées ;
- maintenir un niveau élevé de productivité et d'efficacité de l'outil de production ;
- enfin, « *last but not least* », bénéficier d'un cadre économique, fiscal, juridique et social, qui favorise les ingrédients précédents, qui favorise la compétitivité de l'entreprise française et dans lequel puisse être mise en œuvre une politique industrielle cohérente et soutenue sur une longue période.

Pour l'aéronautique, comme pour bien d'autres secteurs, l'histoire a montré qu'il faut cinq décennies pour bâtir une industrie de premier plan mondial, mais une seule pour tout perdre...

ANNEXES

Annexe 1. Les recommandations du rapport de l'OPECST sur « les perspectives d'évolution de l'aviation civile à l'horizon 2040 »

L'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques a publié en juin 2013 le rapport d'un groupe présidé par M. Roland Courteau, sénateur. sur « les perspectives d'évolution de l'aviation civile à l'horizon 2040 : préserver l'avance de la France et de l'Europe ».

Les têtes de chapitre des recommandations sont les suivantes :

I. MAINTENIR DANS LE LONG TERME DES SOUTIENS PUBLICS À LA RECHERCHE AÉRONAUTIQUE

1. Remettre à niveau dans la durée les crédits alloués à l'Office national d'études et de recherches aérospatiales (ONERA)
2. Assurer le financement des projets du Conseil pour la recherche aéronautique (CORAC)
3. Mener une action de recherche spécifique à la turbopropulsion
4. La création d'une Alliance de recherche dans le domaine de l'aéronautique

II. ANTICIPER LE DÉVELOPPEMENT DU MARCHÉ DES DRONES

1. La constitution d'une mission intergouvernementale – structure administrative légère et par vocation provisoire – dédiée au développement de cette industrie.
2. Le suivi, à l'échelon européen, de l'activation des recherches dans ce domaine et de la mise en place d'une directive pour les drones de plus de 150 kg.

III. SUIVRE LES PROGRÈS DES FILIÈRES DE BIODÉVELOPPEMENT

IV. SURVEILLER L'ÉTABLISSEMENT DE NORMES POUR LA RÉNOVATION DE LA NAVIGATION AÉRIENNE

V. ACCORDER UNE ATTENTION PARTICULIÈRE À LA FORMATION DES HOMMES

1. Les besoins en formations spécifiques au secteur de la construction aéronautique
2. Anticiper le choc de l'introduction de la numérisation dans les systèmes de navigation aérienne
3. Tirer les conséquences de la numérisation de l'économie

VI. FÉDÉRER UNE RECHERCHE SUR LES AÉROPORTS DE L'AVENIR

Annexe 2. Les recommandations du rapport de l'AAE sur « l'avenir de l'industrie aéronautique et spatiale européenne »

L'Académie de l'air et de l'espace, soucieuse de la dimension européenne de l'industrie aéronautique et spatiale, a publié en 2013 un rapport intitulé « Quel avenir pour l'industrie aéronautique et spatiale européenne ? ».

Il aboutit aux recommandations suivantes :

- **Recommandation 1** : En ce qui concerne la construction aéronautique, l'Académie recommande que l'Europe se dote pour piloter ces actions d'une structure efficace, une "Agence européenne pour la recherche aéronautique", reprenant des missions analogues à celles de la NASA et de la FAA (pour ce qui est de son rôle d'aide à la recherche) dans le domaine aéronautique.
- **Recommandation 2** : Un conseil de haut niveau de veille du maintien des compétences aéronautiques européennes couvrant les aspects de formation ainsi que les effets de la coopération et de la délocalisation doit être mis en place
- **Recommandation 3** : L'Académie propose à ces effets la mise en place, sous l'égide de la Commission européenne, d'un observatoire européen de la concurrence aéronautique et spatiale mondiale chargé d'une mission d'alerte
- **Recommandation 4** : Les pouvoirs publics doivent veiller à ce que tous les industriels de la chaîne de production, et tout particulièrement les PME, puissent bénéficier de mesures diminuant le coût de la main d'œuvre locale avec financements bancaires à des conditions raisonnables pour assurer leurs investissements, de l'ingénierie financière ainsi que des soutiens politiques à l'exportation.
- **Recommandation 5** : L'intérêt des opérations de fusion-acquisition et leur conformité aux règles de concurrence européennes doit être d'abord jugé à l'aune de la défense des intérêts européens dans une perspective mondiale. Les créations de co-entreprises avec des sociétés de pays tiers doivent être assorties de précautions politiques et juridiques robustes préservant l'apport européen dans la durée, même si ces sociétés sont localisées dans des pays de marché important
- **Recommandation 6** : l'Académie recommande une accélération de l'harmonisation de la demande des États européens en matière de systèmes d'armes et recommande particulièrement le lancement d'un programme multinational de démonstrateurs technologiques d'avion et/ou de drone de combat
- **Recommandation 7** : L'Europe doit définir une politique industrielle basée sur un nombre limité de maîtres d'œuvre, ainsi que de spécialistes de disciplines-clés ; elle doit veiller à la disponibilité en Europe des technologies-clés nécessaires. L'Europe doit veiller à créer les conditions d'un marché des services spatiaux qui place les industriels européens en bonne position dans la compétition mondiale.
- **Recommandation 8** : L'Union européenne doit mettre en œuvre une politique de préférence communautaire, et veiller à son application par elle-même et par les États-membres, qu'il s'agisse de programmes d'aéronautique de défense ou de programmes spatiaux. Les marchés gouvernementaux européens ne doivent être ouverts à des partenaires commerciaux hors d'Europe que dans le cas où existent des accords de réciprocité avec recherche d'équilibre entre les parties concernées.

Annexe 3. La R&D aéronautique en France et en Allemagne

Les efforts globaux

Avant de parler d'aéronautique, commençons par situer les efforts respectifs des deux pays en R&D : aucun des deux n'atteint l'objectif dit « de Lisbonne » de 3% du PIB, mais si la France stagne à 2,25%⁷⁰, l'Allemagne a déjà atteint 2,9% et ce niveau doit poursuivre sa croissance au titre d'une stratégie budgétée à long terme dont les cinq champs thématiques ([climat](#) et [énergie](#), [santé et alimentation](#), [mobilité](#), [sécurité](#), communication) sont définis par le BMBF (Ministère fédéral de l'enseignement et de la recherche) en accord avec le BMWi (Ministère fédéral de l'économie et de l'énergie). La R&D est dans les deux pays un des rares postes budgétaires épargnés par les réductions de ces dernières années. Il est même en Allemagne, en forte croissance (+ 24,4% au total sur 2011-12-13).

Si l'on compare en Euros ou en effectifs, l'écart Allemagne-France est conséquent : 75,5 Md€ contre 45 Md€, et 328 000 personnels de recherche contre 249 000⁷¹. La part étatique est, comme dans de nombreux pays, voisine de 1% du PIB (0,83% en France, 0,92% en Allemagne) avec une probable surévaluation du côté français due à une prise en compte atypique de l'activité « recherche » des enseignants chercheurs. La part des entreprises est notablement plus forte en Allemagne (1,88% du PIB contre 1,41%) ceci reflétant non une absence de dynamisme des industriels français qui subsistent, mais une désindustrialisation plus marquée de notre pays... En 2009, 80% de la recherche privée française était effectuée dans des entreprises générant 12% de la valeur ajoutée, pour la plupart dans des secteurs industriels (17% en 2001...).

Où va le financement de la Recherche ?

On admettra que le lecteur de ces lignes connaît suffisamment le système français. En Allemagne, un conseil réunissant toutes les parties prenantes « Union de l'économie et de la science pour la recherche » fixe les grandes orientations notamment celles des crédits répartis par objectifs. Très clairement, la priorité est donnée au « soutien à l'innovation » (et il est bien précisé : sur le sol allemand !) et au « lien entre industrie et recherche » que celle-ci soit réalisée dans des établissements dédiés ou dans les grandes universités techniques.

Mais bien avant qu'ait été formalisée cette « Stratégie High Tech » quelques indicateurs simples montrent le souci allemand constant de favoriser les technologies à débouché industriel direct. C'est ainsi par exemple que si la France « écrase » l'Allemagne 11 à 1 sur les Médailles Fields (mathématiques, France deuxième mondiale !) elle est devancée 34 à 58 pour les prix Nobel scientifiques. Un autre indicateur, anecdotique peut-être est la « répartition des crédits par objectif » : en France les Sciences Sociales en absorbent 21,5%, en Allemagne 6,6% (chiffres 2013). Enfin, quand en France, de 2000 à 2013 la progression des budgets des EPIC de recherche a été de 1,8% /an contre 5,1% /an au CNRS⁷², on ne peut s'empêcher de penser que la tendance de fond n'y est pas en faveur de la recherche « finalisée »...

⁷⁰ Début 2014, on aurait même constaté une décroissance de l'emploi R&D en France par rapport à janvier 2013

⁷¹ Donc 28% de plus de crédits pour le chercheur allemand...

⁷² Une partie serait cependant due à une correction comptable de prise en compte des retraites

Fort heureusement, depuis quelques années émergent de multiples tentatives de rapprocher scientifiques et industriels (Pôles, Instituts Carnot) et d'aider les entreprises à investir en R&D (Crédit d'impôt recherche). Ce dernier, dont l'assiette est depuis peu l'ensemble de la R&D de l'entreprise peut, s'il n'est pas détourné par d'habiles fiscalistes ni rogné au fur et à mesure de sa montée en puissance, devenir en France un remarquable moteur de l'innovation.

Qui mène cette recherche du côté industriel ?

Les entreprises de plus de 1000 personnes se taillent la part du lion avec 35 Md€ côté allemand et 16 Md€ côté français, mais curieusement la balance s'équilibre (environ 10 Md€ dans chaque pays) pour les entreprises plus petites (< 1000 personnes). On notera qu'en France les commandes directes de recherche aux établissements étatiques restent tout à fait modestes en volume, même s'il existe quelques exceptions notoires notamment au sein des « instituts Carnot » qui en exécutent plus de la moitié (420 M€ de contrats en 2012, 1% de l'effort de recherche français).

De quelle R&D s'agit-il ?

Une idée générale se dégage lorsqu'on se réfère, comme le rapport récent de la Cour des Comptes⁷³ à la nomenclature dite « de Frascati » de l'OCDE : la France se distingue par la faible proportion de la part dite « développement expérimental » largement effectuée en entreprise, où elle n'investit que 34% de son effort, contre 63% aux Etats-Unis et 83% en Chine (!)⁷⁴. Dans le même ordre d'idées, on lit que la France est un brillant exportateur de Propriété intellectuelle (plusieurs milliards d'Euros/an) mais qu'elle n'en importe que très peu !

En pratique, ces données globales reflètent bien ce que les rédacteurs du présent document ressentent depuis longtemps i.e. la difficulté en France à passer de la bonne idée et de sa première démonstration (TRL 1 à 4) au stade où l'industrialisation devient maîtrisable (TRL 5 et 6)⁷⁵. Le premier stade demande du temps mais des budgets modérés (on parle de centaines de k€ ou de quelques M€) et le deuxième de la vitesse (concurrence quand l'idée est dans l'air !) et une prise de risque en millions voire dizaines de millions d'Euros et plus. Combien de start-ups ne passent pas le cap des premières années et/ou se font racheter par la concurrence étrangère lorsqu'il faut passer à la vitesse supérieure ?

Et l'aéronautique dans tout cela ?

Jusqu'assez récemment, l'aéronautique s'en est plutôt bien sortie ! Et il y a une logique à cela ! Les secteurs qui ont continûment investi en formation, en recherche, en développement, comme en France le Spatial, dont le budget est stable et bien visible dans le budget de la Mission interministérielle recherche et enseignement supérieur (MIREs), comme l'Atome, et comme l'Aéronautique, encore soutenue avec détermination il y a quelques années par la Défense et l'Aviation Civile, s'illustrent par de brillants indicateurs internationaux : le Spatial français, notamment via les projets CNES ou ESA se classe immédiatement derrière les Etats-Unis quant aux publications scientifiques, l'Aéronautique française propulse le secteur « Transport » à 16% de retour de financements sur les projets européens (7^{ème} PCRDT) là où la France, contributaire pour 17% ne récupère en moyenne que 10% du total...

Et, ces dernières années, les PIA apportent à l'aéronautique une salubre bouffée d'oxygène en lui permettant de développer des démonstrateurs dont on verra rapidement les résultats, précisément dans les niveaux de TRL évoqués ci-dessus.

Mais le développement des sciences et technologies en aéronautique se place dans des durées extrêmement longues, couramment la vingtaine d'années, tant les pas sont difficiles à faire dans ce secteur « pointu » où tout réagit sur tout et où l'erreur est quasiment interdite !

⁷³ Cour des comptes Le financement public de la recherche, un enjeu national – juin 2013

⁷⁴ Chiffres OCDE ; La Chine ne ferait que 5% de recherche fondamentale, contre 26% en France...les données allemandes correspondantes ne figurent pas dans les tableaux de l'OCDE...

⁷⁵ TRL *Technology Readiness Level*, voir définition en annexe 7.

On voit actuellement dans les démonstrateurs précités se concrétiser des recherches entamées il y a vingt ans dans les labos « amont ». La France qui à cette époque faisait avec l'ONERA et les labos DGA largement jeu égal avec le DLR allemand, en est aujourd'hui bien loin : où donc se prépareront les « pépites technologiques de demain » si les TRL amont sont négligés ?

Les jeunes souhaitent-ils prendre la suite ?

La formation des ingénieurs est bonne, et l'attractivité du secteur est manifeste tant aux concours d'entrée qu'au vu de la « cote » des entreprises chez les jeunes diplômés (surtout les grands groupes car les PME les tentent moins !). Celle des techniciens, compagnons, etc. souffre d'un défaut d'image, d'une méfiance quant à la pérennité des emplois, d'une méconnaissance de la part des orienteurs à tous niveaux, et de niveaux de rémunération jugés peu attractifs dans nombre des PME du secteur...

Quid de la Recherche amont ?

Autant le Spatial a « pignon sur rue » avec sa ligne identifiée au sein de la MIREs, le CNES, la participation française à l'ESA, autant l'aéronautique, qui avec le CEA et le CNRS a pourtant profité en 1946 de l'extraordinaire vision et de la pugnacité de Joliot-Curie imposant la création de l'ONERA⁷⁶, doit de plus en plus, depuis une quinzaine d'années « se débrouiller » pour trouver ses soutiens, s'organiser pour travailler avec de multiples laboratoires⁷⁷ et, un peu au coup par coup, convaincre instances étatiques, régionales... et les sous-traitants qu'un Euro mis dans la recherche aéronautique va, à (très !) long terme, en rapporter beaucoup !

La vie est sans doute plus facile dans les nombreux labos historiquement plus subventionnés, où, comme c'était autrefois le cas pour une grande partie de l'aéronautique, les débouchés industriels sont majoritairement sur des marchés « protégés »... La Défense par ses projets, ses laboratoires, et sa tutelle affirmée de l'aéronautique a joué un rôle visionnaire et majeur, tout comme l'administration de l'aviation civile qui après Concorde, a cru à l'aventure Airbus ! Mais aujourd'hui, mais demain, qui va prendre la relève ? Les crédits de la Défense sont plus que jamais menacés, la DGAC a perdu énormément de son pouvoir de politique industrielle, l'ONERA « se bat », est avec le CEA un des meilleurs « Instituts Carnot » en ce qui concerne la recherche contractualisée avec l'Industrie (même étrangère...) mais doit faire des choix douloureux là où le DLR allemand mobilise, de concert avec l'Industrie, des investissements massifs... Qui, de la Défense, des Transports, de la Recherche, de l'Industrie, et des Régions se sent véritablement responsable ?

L'imagination technocratique ne manque pas ! Les effets d'annonce non plus ! On se perd dans les sigles et les concepts (PRES, RTRA, IDEX, LABEX, EQUIPEX, Carnot, Pôles de compétitivité, CORAC, CleanSky, CIR, SATT etc.). On est loin, en aéronautique, de la structure allemande décrite plus haut, administrée par le DLR...même si entend-on, celle-ci est imparfaite, le « DLR se taillant une part trop belle »...

Heureusement, une sélection « darwinienne » s'opère, et on peut souhaiter que le CORAC⁷⁸⁷⁹ et le Crédit d'impôt recherche, tout comme les financements Carnot et les initiatives à l'échelle régionale, favorables à la « *supply chain* » (Aerospace Valley, en Midi-Pyrénées et Aquitaine, EMC2 à Nantes...) assurent durablement une certaine puissance et une certaine visibilité aux acteurs de la R&D...

⁷⁶ Qui n'a pas été un long fleuve tranquille : lire sur internet des extraits de « Frédéric Joliot-Curie, de Michel Pinault, éditions Odile Jacob »...

⁷⁷ L'Aéronautique plait... et l'ONERA est loin d'être le seul organisme à y faire de la recherche ! Quelques gros labos CNRS ou de Grandes Ecoles en font aussi à un niveau « professionnel » c'est-à-dire en liaison avec le milieu aéronautique et sa culture, mais bien d'autres dispersent vainement leurs efforts...

⁷⁸ Conseil pour la recherche aéronautique civile française

⁷⁹ Voir plus loin les huit recommandations du CORAC (2009)

Ceci dit, les projets ponctuels et largement médiatisés suscitent de la méfiance car la tentation est toujours là de les construire en rebaptisant des crédits existants... ou pour Bercy de les raboter... Pour l'instant les Programmes d'Investissements d'Avenir⁸⁰ semblent s'acheminer vers leurs objectifs affichés. Seront-ils suivis par d'autres initiatives ?...

Ces dernières années, au prix d'efforts de concertation et de persuasion considérables, il se trouve que le CORAC⁸¹ a réussi à faire affecter à l'industrie aéronautique une part du PIA1 permettant de cofinancer l'ensemble des plate-formes de démonstration qu'il a recommandées. Et les résultats sont au rendez-vous ! Souhaitons que cette réussite convainque les politiques et soit le germe d'une organisation nationale de la R&T aéronautique lisible, qui couvre tout le spectre des TRL sans oublier la recherche amont, capable de mener une véritable politique industrielle et dotée d'un financement à la hauteur de l'enjeu !

Le rapport du sénateur Courteau⁸² sur « Les perspectives d'évolution de l'aviation civile à l'horizon 2040 : préserver l'avance de la France et de l'Europe » est en ce sens, particulièrement intéressant. S'il faut, ici, insister sur un point, c'est celui déjà mentionné de la difficulté française à passer le « trou des TRL » donc, en profondeur, travailler sur la concrétisation des belles idées⁸³, le désir d'entreprendre et de convaincre les « *business angels* » de toutes envergures, privés et publics, de miser sur des développements expérimentaux audacieux et ainsi de recréer une richesse technologique en savoir-faire de pointe, en entreprises et bureaux d'études capables, sur lesquels s'appuieront les grands ensembliers d'aujourd'hui et de demain. L'Allemagne se donne les moyens de le faire ; la R&D française est brillante et devrait s'orienter dans cette même direction pour consolider le fragile socle industriel qui résiste encore.

Une note d'optimisme pour conclure : la conjonction du CORAC et de l'ONERA, soutenue par la DGAC est parvenue, ces dernières années à jouer un rôle d'orienteur et de fédérateur des efforts français en recherche aéronautique amont, écouté par les pouvoirs publics, et les régions, au-delà de celles précitées, commencent à s'intéresser au succès de leurs acteurs aéronautiques : on peut donc espérer que même si les budgets sont tendus, le financement sera mis au bon endroit, sur les équipes et projets porteurs d'avenir !

Les déclarations récentes (8-9 septembre 2014) aux universités d'été de la Défense, du nouveau président de l'ONERA Bruno Sainjon, qui dresse un constat sévère sur la gestion de la R&T aéronautique et spatiale française, vont peu ou prou dans le même sens que le présent Cahier des IESF, dont la rédaction s'est achevée à la même date⁸⁴.

Citons enfin à l'appui des mots ci-dessus une des recommandations du Rapport Courteau : « *L'ONERA est une pièce importante du dispositif français - en ce que, dans son activité aéronautique civile, il se situe à la charnière des recherches académiques et du développement technologique de base[...]. Avec des moyens très importants [...] l'Office est en situation d'amorcer des études sur des thématiques appelées à être importantes ou décisives à moyen ou long terme et que les industriels n'ont pas vocation à préfinancer.* Le rapport plaide ensuite pour un « ressaut » de financement et une vision pluriannuelle comme on la constate en Allemagne avec le programme LUFO.

En bref, il faut sortir d'un dispositif illisible et incertain, rendant extrêmement difficile le pilotage à long terme de la R&T et mettre en place des « guichets » clairs et stables. **Le seul vraiment grand secteur exportateur français, qui ancre sur notre territoire une part de la croissance mondiale, mérite bien un tel égard !**

⁸⁰ Dont les coprésidents viennent de démissionner, avril 2014 (?)

⁸¹ Déjà copié par d'autres secteurs et... lorgné par l'industrie allemande qui voit le DLR comme juge et partie...

⁸² Voir <http://www.senat.fr/notice-rapport/2012/r12-658-notice.html>

⁸³ Plutôt que de brader la propriété intellectuelle

⁸⁴ Voir <http://www.onera.fr/fr/actualites/role-r-et-t-pour-que-la-france-reste-une-puissance-aerospatiale>

Annexe 4. Les sous-traitants et équipementiers de la construction aéronautique

a. Les acteurs de la « *supply chain* »

L'ensemble des sous-traitants et équipementiers de la construction aéronautique est constitué de 10 000 à 20 000 entreprises, à l'origine de 70 à 80% de la valeur ajoutée du secteur.

L'aéronautique emploie volontiers aujourd'hui la classification de la sous-traitance par niveaux ou « rangs » (« *tier* » en anglais) inspirée de l'industrie automobile⁸⁵ :

- * Au premier niveau se trouvent les grands intégrateurs, livrant un aéronef complet avec tous ses systèmes. Exemples : les Airbus, le Rafale, les hélicoptères, etc. Ils sont responsables de la qualification et de la certification de l'aéronef complet.
- * Au deuxième niveau (rang 1 des sous-traitants) on va trouver des concepteurs-réalisateurs de sous-ensembles complets (moteurs, nacelles, trains d'atterrissage, systèmes électroniques embarqués, gros éléments de cellule partiellement équipés...) associés à la définition même de l'avion (ex. : détachement d'ingénieurs travaillant en « plateau » réel ou virtuel avec l'équipe de conception de l'avionneur). Ces entreprises sont pour la plupart de grande taille (exemple : Snecma 15 000 personnes, Latécoère 4 000 personnes, Thales 66 000 personnes⁸⁶, Liebherr Aerospace 38 000 personnes, Messier-Bugatti-Dowty 7 000 personnes) mais pas toutes (Labinal 1 000 personnes, Ratier-Figeac 1 000 personnes) et sont capables d'un investissement continu de R&T, et de plus en plus souvent sollicitées (notamment par Airbus) pour un partage du risque économique-industriel au lancement d'un nouveau projet.
- * Au troisième niveau (rang 2 des sous-traitants) se trouvent certains industriels du rang précédent mais surtout leurs fournisseurs ; ils maîtrisent des spécialités en équipements, mécanique, hydraulique, électrique ou autres leur permettant de produire avec la qualité voulue et les exigences de la certification, des éléments quasi finis non divisibles en autres systèmes. Exemples : gouvernes, volets, boîtes de réduction, systèmes d'armes et munitions, calculateurs. Grosses PME/PMI ou ETI, parfois multinationaux, ils ont pour la plupart une clientèle diversifiée dont une part substantielle à l'export.
- * Au quatrième niveau (rang 3 des sous-traitants) se trouvent les fournisseurs d'éléments « simples » avec une fonction claire, qui ne peuvent être utilisés que dans un élément du niveau supérieur ; ils maîtrisent des technologies de fabrication « pointues » leur permettant de livrer des pièces de structure usinées, des tableaux de circuits électriques, certaines pompes et valves etc., ou d'appliquer des procédés comme des traitements de surface etc. l'ensemble de ces techniques étant trop vaste et spécialisé pour être disponible dans les ateliers du niveau supérieur. A ce stade, la spécificité et la culture aéronautiques sont encore très fortes mais on commence à se trouver dans une logique de « niches » occupées par des PME/PMI avec tous les risques que cela comporte, dont celui, pour être en pointe, de se trouver tributaire d'un client dominant.

⁸⁵ Voir <http://www.mire-restructuration.eu/docs/CS%20Airbus%20F%20FR.pdf>

⁸⁶ L'activité de Thales, tout comme celle d'autres grands fournisseurs de l'aéronautique, est loin de se limiter à ce seul rôle !

- * Au cinquième niveau (rang 4 des sous-traitants), les exigences aéronautiques sont encore là (ex. : traçabilité des produits...) mais l'éventail des possibilités d'approvisionnement en matériaux plus ou moins élaborés ou même en services, s'accroît considérablement, tout comme la diversification de clientèle des industriels concernés... Exemple : pièces coulées non usinées, arbres, rivets, composants électriques et électroniques.

Ceci étant, l'intégrateur ou le fournisseur de rang 1 fait couramment appel en direct à des spécialistes du rang 3 pour des capacités que seuls ceux-là possèdent et qui sont requises dans l'intégration finale (traitement de surface, peinture...ou maîtrisant une technologie spécifique)... Il faut citer aussi le cercle des « *tactical* » qui englobe des sous-traitants directs n'intervenant pas en partage de risque (« *risk-sharing* ») mais que l'avionneur sollicite sur des petites opérations, des petits volumes, des commandes exigeant une très grande réactivité.

b. Comment vit la « *supply chain* » ?

L'année 2012, dans la prolongation de l'année 2011, caractérisée par une sortie de crise, a vu l'activité des entreprises équipementières, ETI (Entreprise de taille intermédiaire), PME et PMI croître significativement dans le sillage des grands maîtres d'œuvre du secteur en France et dans le monde.

Leur chiffre d'affaires a progressé de 16 % avec toujours une très forte partie à l'exportation directe (42 %) et des prises de commandes de très bon niveau (un an de CA).

La Supply Chain française a montré que, dans une grande majorité, elle avait su assurer la montée en cadence des avionneurs.

Ces PMI sous-traitantes aéronautiques opèrent sur une gamme très large d'activités en particulier dans les métiers du travail des métaux, de la réalisation de pièces de série, d'équipements mécaniques, de la fabrication d'équipements d'aide à la navigation électronique, de la plasturgie,... Mais également sur des métiers plus transverses, tels que les études, la conception, l'informatique et autres activités de services à l'industrie.

Ces PMI sont généralement assez fortement dépendantes du secteur aéronautique-spatial-défense. Plus de 50% d'entre elles réalisent au moins 50% de leur chiffre d'affaires sur la filière. La dépendance à un seul client est toutefois réduite, car les donneurs d'ordre s'assurent d'une bonne ventilation du chiffre d'affaires de l'entreprise entre ses différents clients. Ils imposent par ailleurs de représenter eux-mêmes moins de 30% du chiffre d'affaires de leurs sous-traitants. Ces pratiques qui visent à garantir la pérennité des approvisionnements aux donneurs d'ordres conduisent les PMI à envisager des diversifications au sein de la filière aérospatiale ou dans d'autres filières.

Elles sont tournées vers des marchés extérieurs encore essentiellement européens mais s'ouvrent également à l'export sur des marchés mondiaux. 40% d'entre elles exportent (avec des ratios CA export/CA de valeur variable).

Mais elles ne bénéficient pas, comme leurs concurrentes américaines, d'un véritable « *Small Business Act* » à la française ou à l'européenne⁸⁷, ou des certitudes que donnent des politiques industrielles volontaristes dans les pays émergents comme ce fut le cas en France il y a quelques décennies...

⁸⁷ Le terme est utilisé à Bruxelles depuis 2008, mais le contenu est loin d'être aussi « opérationnel » que le SBA aux Etats-Unis.

La visibilité des carnets de commande semble meilleure que sur d'autres secteurs d'activités. Les entreprises travaillent généralement sur des commandes pluriannuelles. Les quantités globales à fournir sur l'année sont connues avec des dates prévisionnelles de livraison qui sont confirmées ou modifiées de 1 à 2 mois avant la livraison. Les durées de ces engagements ont toutefois tendance à se réduire et les cadencements des appels d'offres à s'accélérer. La contrepartie de ces engagements sur la durée réside dans des obligations d'accroissement de productivité annuel visant à réduire sensiblement les coûts et les prix unitaires.

Ainsi, le groupe Airbus a lancé un programme dont l'objectif est la diminution, sur 3 ans, de 15% du prix des prestations réalisées par ses fournisseurs et sous-traitants. La stabilité des relations reste un élément important des relations entre les donneurs d'ordres et leurs fournisseurs de la filière. Cette dernière s'impose compte tenu de la durée de développement des produits, des cycles de production, de la durée d'exploitation des avions et des procédures très lourdes de qualification d'un avion ou des sous-ensembles (essais en vol notamment).

Les entreprises ont elles-mêmes recours à de la sous-traitance soit de capacité, lorsqu'elles ont des difficultés à répondre quantitativement à la demande de leurs clients, soit à de la sous-traitance de spécialité. Il s'agit alors principalement des activités de traitement de surface, traitement thermique... Dans un certain nombre de cas, le recours au sous-traitant est imposé par le donneur d'ordres en raison d'exigences fortes de maîtrise du processus de fabrication. Les entreprises indiquent assez régulièrement que ce recours à la sous-traitance les pénalise dans leur capacité à répondre rapidement à leurs clients ou dans les niveaux de qualité. La maîtrise de la sous-traitance n'apparaît donc pas toujours gérée de façon optimale.

La vision ci-dessus, quasi idyllique, n'est pas partagée par tous les acteurs : lors de leur enquête, les auteurs du présent Cahier ont entendu citer des cas de commandes trois mois par trois mois là où le donneur d'ordres avait une visibilité de cinq ans, des histoires de gestion de stocks matières ahurissantes, des cas d'encouragement à l'investissement ou à la création d'une filiale en zone « low cost » non suivis de commandes etc.

Les entreprises doivent s'organiser, investir, recruter... » Et toujours à moindre coût. « Certains sous-traitants n'arrivent pas à franchir ce cap, il y a un prix à payer pour rester dans la course,. Le tissu industriel est en train de se recomposer. On aura de plus en plus de grosses entreprises. » Les plus petites sont condamnées à grossir ou à se diversifier.

c. Recruter

Les entreprises rencontrent très fréquemment des difficultés de recrutement de personnel qualifié et expérimenté (opérateurs sur machines à commande numérique, techniciens,..) parfois sur des domaines très spécifiques (rectifieurs, affûteurs, metteurs au bain ...). Elles éprouvent également des difficultés à recruter du personnel d'encadrement, souvent attiré par les grands groupes et qui délaisse les PMI.

Les sous-traitants de rang n, loin du produit final constatent un déficit d'image de leur métier et le peu d'attrait des jeunes pour les filières techniques. Ces problèmes semblent d'autant plus prégnants que les départs à la retraite se font plus nombreux en raison d'une pyramide des âges vieillissante et touchent des personnels expérimentés. Face à ces problèmes de recrutement, les PMI sont obligées de recourir fréquemment à l'intérim, solution peu satisfaisante dans la durée.

Par ailleurs, certaines entreprises indiquent que les formations scolaires leur semblent insuffisamment adaptées à leurs besoins et manquent d'approche pratique. Les jeunes ne sont généralement pas opérationnels et les PMI sont amenées à investir lourdement dans leur formation. Les principaux domaines de formation en interne sont essentiellement techniques sur des procédés ou technologies métiers ainsi que sur l'utilisation de logiciels de CAO.

Pour combler ce déficit, certaines ETI (Ex : Figeac Aero) sont amené à créer des CFA (Centre de formation en alternance) pour satisfaire leurs besoins en personnel.

d. Investir

Les entreprises disposent de parcs machines récents et d'un niveau technologique satisfaisant pour la plupart des entreprises rencontrées. Plus de 70% des entreprises disposent des moyens techniques adaptés aux marchés de l'aéronautique-spatial-défense. Pour autant, nombre d'entre elles indiquent avoir des projets d'investissement matériel dans de nouveaux moyens de production. Afin de maintenir leur compétitivité (en particulier dans la perspective de fabriquer à moindre coût), les entreprises souhaitent acquérir les technologies les plus performantes (centres d'usinage à grande vitesse, multi palettes, ...). La course à l'investissement apparaît pour ces entreprises comme une condition sine qua non pour conserver leurs marchés. Dans une grande majorité des cas, l'investissement est réalisé pour répondre à des demandes précises des donneurs d'ordres.

L'investissement en matériel de production est le socle de quelques projets d'entreprise, que ce soit pour répondre à une demande du marché ou pour maintenir le niveau technologique du matériel. Ce sont essentiellement les petites structures qui possèdent un parc machine vieillissant qui mettent le projet d'investissement matériel au centre de leur stratégie car il en va de leur pérennité : sans équipement adapté, elles ne sont pas en mesure de répondre aux exigences techniques des clients et manquent de productivité. La diversification est reconnue comme un moyen pour améliorer le positionnement concurrentiel mais avec des projets rarement formalisés.

Les donneurs d'ordres, affichent le souhait de voir leurs sous-traitants directs s'engager dans des logiques partenariales afin de leur offrir des prestations les plus complètes possibles.

Il est nécessaire parfois d'ouvrir le capital mais cela nécessite des compétences que n'ont pas forcément toutes les PME, PMI et ETI (Entreprise de Taille Intermédiaire).

A titre d'exemple, Figeac Aero a réalisé un placement privé de 17,6 millions d'euros, dont 14,5 millions d'euros d'augmentation de capital, à l'occasion de son introduction à la Bourse de Paris, qui a eu lieu lundi 23 décembre 2013.

"Nous disposons aujourd'hui de moyens financiers accrus, qui nous permettront d'accélérer notre développement et surtout de mettre en œuvre notre stratégie avec l'ambition de devenir l'un des leaders mondiaux de la sous-traitance aéronautique", a déclaré Jean-Claude Maillard, PDG de Figeac Aero, cité dans le communiqué.

Lors de l'enquête sur les PME du secteur, le cas du rachat de « pépites technologiques » par des fonds souverains, suivi de l'exfiltration progressive des compétences, n'a pas été évoqué directement. Il est cité comme un risque par d'autres sources, se référant aux pratiques constatées dans d'autres secteurs. Pour certaines des technologies « pointues » des sous-traitants aéronautiques, le lien avec la Défense assure une certaine protection, mais pour la plupart, devant une crise majeure, on ne voit pas très bien ce qui pourrait empêcher un rachat « mal intentionné »...

e. S'organiser

Pour maintenir leur croissance et se pérenniser, les fournisseurs aéronautiques doivent donc atteindre une taille critique, maîtriser des nouvelles technologies, être aux côtés des donneurs d'ordres de premier niveau dans leur déploiement industriel.

Les sous-traitants aéronautiques s'unissent pour mieux croître :

Ex : Une plateforme d'achat a été créée par une dizaine de PME françaises de l'aéronautique pour leur permettre de négocier les prix de leurs matériaux et d'être plus compétitifs. La plateforme Aero Trade, dont l'initiative est soutenue par Airbus, a passé au mois de novembre sa première commande de matières premières. Elle se veut le symbole d'un rapprochement fructueux entre entreprises concurrentes, au profit d'une filière certes en plein essor mais relativement atomisée. Elle permet à ses neuf entreprises actionnaires de mutualiser leurs besoins de fonds de roulement et de mieux préserver leur trésorerie face à la montée en cadence d'Airbus, qui est naturellement tenté d'imposer des conditions de prix et de réactivité très dures.

f. Faire moins cher

L'histoire se complique encore davantage pour les sous-traitants qui doivent sans cesse réduire leur coût pour remporter des contrats avec Airbus. « Ceux qui sont en bas de la chaîne sont sans doute les plus comprimés », Pour faire face, les grands donneurs d'ordre ne laissent pas le choix aux sous-traitants : délocaliser une partie de la production. Ex : AéroliA a son usine en Tunisie, Duqueine en Roumanie.

Les plus petits aussi ont dû suivre, au Maroc ou en Tunisie, principalement.

Annexe 5. Comparaison construction aéronautique - construction automobile

a. Des « poids lourds » de l'industrie française

Même si l'on entend fréquemment citer dans les media les succès d'Airbus, le poids relatif de ces deux secteurs et leur importance en terme d'emplois et pour l'économie du pays, sont perçus par le public comme nettement en faveur de l'automobile. Nous intéressant ici à ce qu'il advient aux emplois en France et à la balance commerciale française, on comparera les chiffres nationaux⁸⁸ :

Incluant la sous-traitance interne à son secteur, l'automobile affiche 215 000 emplois (rapport CCFA 2013⁸⁹) et l'aéronautique 170 000 plus une partie des 140 000 sous-traitants, comme on l'a vu plus haut (GIFAS 2013). En nombre d'ingénieurs, l'aéronautique l'emporte avec 33000 postes contre un peu plus de 32 000 à l'automobile (l'enquête IESF 2011 donne 38 000 postes en incluant le spatial). En chiffre d'affaires, la diversité des approches des groupes concernés fait renoncer à une comparaison simple. En revanche, le solde du commerce extérieur mesuré par les douanes est facilement lisible et se monte à +15 à 20 Md€ par an pour l'aéronautique contre -3 à -4 Md€ pour l'automobile⁹⁰.

Ces chiffres soulignent s'il en est besoin que l'aéronautique souffre d'un déficit d'image⁹¹ et compte pourtant bien aujourd'hui, à l'instar de l'automobile, parmi les « poids lourds » du monde industriel français.

b. Les produits sont-ils comparables ?

En apparence oui, car on parle de véhicules demandant un effort continu de R&D, recherchant confort, sécurité, compétitivité économique, ayant les mêmes objectifs affichés de réduction de pollution, présentant sensiblement les mêmes coûts d'exploitation et d'amortissement par passager x kilomètre, s'adressant à des marchés similaires (même dépendance au PIB/tête : stagnation européenne, essor des pays émergents) etc. mais en réalité **non** car :

- les exigences en terme de sécurité, de fiabilité et donc de performances sont beaucoup plus élevées pour l'avion, car vitales pour le mobile et ses occupants ;
- les logiques d'achat et d'usage de ces véhicules sont profondément différentes (avion : concurrence sur les coûts d'exploitation par des clients professionnels d'un transport de masse à faibles marges, donc logique « bien d'équipement »; automobile : disponibilité individuelle d'un véhicule, à un certain niveau de confort et d'agrément, fonction des revenus, donc logique « bien de consommation ») ;
- le volume de production (mondial) de l'industrie automobile est en nombre (séries...) de l'ordre de 10000 fois plus élevé, et en masse au moins 100 fois plus élevé, ce qui impacte évidemment les logiques de site ;

⁸⁸ Il est bien entendu que les alliances étrangères comme Renault-Nissan ou EADS jouent un rôle majeur !

⁸⁹ http://www.ccfa.fr/IMG/pdf/ccfa_ra2012_fr_web.pdf

⁹⁰ L'automobile exporte néanmoins par dizaines de milliards (flux d'entrées-sorties mesurés par les douanes) mais est concurrencée sur le marché intérieur (les Français achètent environ 50% de véhicules étrangers) et n'a pas de créneau permettant de « faire la différence » à l'international à la manière allemande.

⁹¹ On remarquera qu'il ne figure même pas sur la page d'accueil de la direction la plus concernée du ministère du redressement productif !! <http://www.dgcis.gouv.fr/secteurs-professionnels/industrie>

- le prix d'achat au kilo est considérablement plus élevé dans l'industrie aéronautique, d'un facteur de l'ordre de 50 à 100...⁹² et pourtant celui-ci, rapporté aux kilomètres-passagers parcourus, est en faveur de l'avion !⁹³ Une telle différence correspond à des exigences de performance et de maîtrise de qualité de fabrication très éloignées.

c. Un besoin d'innovation partagé, mais avec des motivations différentes

Pour l'avion, il faut insister sur les aspects « performance » et « sécurité/fiabilité » : la performance qui consiste à transporter rapidement des passagers dans des conditions économiques compétitives, exige de réduire la consommation de carburant au niveau actuellement atteint, c'est-à-dire 3 litres/100km par passager. Cette contrainte va s'accroître avec la montée du prix des carburants, et va naturellement dans le bon sens du point de vue de l'écologie. Le coût du carburant est déjà le double de celui du poste <amortissement + entretien> et devrait doubler d'ici quelques décennies (AAE 2050). Il faut également veiller à la tranquillité des riverains des aéroports exposés à un trafic croissant...

La course au progrès technique des avionneurs européens et de leurs concurrents est donc un enjeu majeur pour rester compétitif... Ceci exige des prouesses technologiques tant sur l'aérodynamique que sur les structures, les moteurs, les matériaux, les aspects « système », tout réagissant sur tout dans un véhicule qui est extraordinairement intégré. De ce fait, pour garantir la sécurité du vol, les marges et redondances en tout genre doivent être calculées au plus juste mais rigoureusement, l'exigence de fiabilité étant pour chaque grand sous-ensemble de l'avion de moins d'une défaillance majeure pour dix milliards d'heures de fonctionnement... Tout ceci induit des coûts de recherche, de conception, de certification et de fabrication élevés, mais au final largement rentables si le niveau de performance est atteint !

L'avion se range dans le monde hautement compétitif du transport en commun, même s'il est quasiment seul sur son créneau au-delà de 1500km, et doit pour exister en tant que mode de transport de masse, générer pour ses clients, i.e. les compagnies aériennes, des coûts d'exploitation du même ordre que ceux des autocars ou des trains. Et c'est le cas ! Le billet moyen de ces trois modes de transport coûte environ 10 c€ par km.

A contrario, le client automobile, fût-il client indirect à travers les flottes des loueurs, ne fait pas ce genre de calcul, sous-estime en général le coût total de possession et d'usage de son véhicule, et se détermine sur des critères moins rationnels, le défi pour l'industriel étant surtout de maximiser l'attractivité de son véhicule en gardant ses coûts de fabrication voisins de ceux des concurrents...

⁹² Un peu moins de 1500€/kg pour un avion moyen-courrier contre 15€/kg pour une voiture d'entrée de gamme...

⁹³ L'achat de l'avion et sa maintenance interviennent pour 12% dans le prix moyen du billet d'avion qui est actuellement d'environ 8 c\$/km (source AAE 2012) : donc environ 1 c€/km. Pour l'automobile, on trouve plusieurs centimes d'Euro par siège x kilomètre, voir par exemple les Trophées Argus annuels.

Annexe 6. Les technologies prometteuses à faible niveau de maturité

L'Association aéronautique et astronautique de France (3AF) a établi pour le CORAC une analyse des technologies à faible niveau de maturité en cours de développement dans le secteur de la construction aéronautique et en a identifié onze qui lui paraissent particulièrement prometteuses :

* *TA1 Réduction des charges de vol ; technologies pour un avion instable certifiable*

L'idée proposée consiste à développer l'ensemble des technologies de contrôle actif de charges permettant la certification des systèmes dynamiques à très haute performance et très haute fiabilité. Déjà utilisées sur les avions militaires récents, ces technologies permettent de réduire la traînée d'équilibrage assurée par les gouvernes en rendant possible la maîtrise dynamique de la stabilité en tangage. La diminution attendue des charges en vol, l'augmentation de la portance et la diminution de la traînée à haute ou basse vitesse permettent des gains en masse et en consommation de carburant.

* *T2 Simulation multi-physique haute performance :*

La simulation multi-physique permet d'aborder simultanément et à l'échelle de l'aéronef ou de ses modules principaux, les aspects mécaniques, cinématiques, thermiques, aérodynamiques, aérodynamiques... Le couplage fort inter-disciplines permet de prédire et optimiser l'interaction entre les phénomènes physiques et les différentes échelles; temps, géométrie, précisions... Les calculs intensifs sont passés au cours des vingt dernières années de niveaux de discrétisation de quelques millions de points à plusieurs centaines de millions de points. Les premières tentatives de couplage multi-physiques ont été tentées au cours des années 1990; cependant, certains phénomènes physiques complexes pour lesquels les interactions matière, fluide, énergie prédominent sont encore peu ou mal modélisés. La poursuite ininterrompue des capacités de calculs ainsi que le développement de la simulation dans toutes les industries offrent des opportunités croissantes d'analyse, de compréhension et d'optimisation multi-physique des composants. Pour permettre un couplage pluridisciplinaire efficace, le développement des modèles physique devra accompagner celui des techniques de simulation.

* *T3 Matériaux hybrides et liaisons composites-métal :*

L'utilisation croissante de matériaux composites conduit à la conception de structures multi-matériaux constituées d'assemblages hybrides métal-composite; ces assemblages complexes alourdissent les structures aux interfaces et allongent les temps d'assemblage. Ces assemblages multiples génèrent également des contraintes mécaniques d'origine thermique très importantes et pénalisantes. Les progrès en cours sur la compréhension des comportements mésoscopiques des matériaux composites, les nouvelles techniques de tissage, l'apparition de nouvelles techniques de création de matériaux métalliques permettent d'envisager des approches novatrices mêlant de façon intime, matériaux composites et métalliques et d'accroître les performances aux interfaces. Cette étape pourrait également être considérée comme une première étape vers des matériaux fonctionnels

* *T4 Batteries à ultra-haute capacité :*

Les progrès dans le domaine de la production et du stockage de l'énergie électrique ont conduit aux premières applications dans le domaine du transport. Les progrès rapides accélérés par la convergence du besoin de masse (transport, communication, espace, biomédical, robotique autonome), du développement des nanotechnologies et de la pression environnementale permettent d'envisager des progrès sur l'ensemble des caractéristiques: masse, capacité, puissance et énergie massique, rapidité de charge, sécurité. L'accroissement des performances permettra l'émergence non seulement d'évolutions de systèmes actuels, mais aussi des changements en rupture des organes d'actuation, de la propulsion et de l'énergie à bord: capacité d'effacement des pics de consommation grâce à une capacité à fournir de manière instantanée une grande quantité d'énergie. L'avènement de ces nouvelles technologies nécessite le traitement des aspects liés à l'utilisation dans le domaine aéronautique: performances, sécurité, fiabilité... Grâce à ces technologies, nous pourrions : favoriser le développement de la propulsion hybride, phases transitoires ; favoriser le développement des technologies de *harvesting*⁹⁴ (énergie potentielle et cinétique) ; permettre la suppression des APU ; réduire les émissions sonores au sol (taxiage⁹⁵ électrique) ; réduire de la masse par réduction du câblage ; progresser vers l'avion « conçu très électrique ».

* *T5 Pile à combustible :*

L'utilisation de piles à combustible qui ont démontré leur efficacité dans le domaine spatial constitue une solution crédible comme source d'énergie embarquée pouvant se substituer au moteur pour la production d'électricité. Elles présentent l'avantage d'être efficaces, silencieuses et non polluantes. Les piles à combustible utilisent l'hydrogène comme combustible et l'oxygène comme comburant. L'hydrogène peut être stocké sous forme liquide ou gazeuse ou produit par reformage d'un hydrocarbure. Quelques progrès majeurs doivent être réalisés pour une utilisation à bord; augmentation de la durée de vie, réduction du coût, fiabilité des composants du cœur et des composants auxiliaires; logistique du carburant embarqué...

* *T6 « Air Traffic Management » d'optimisation multi-critères*

Au-delà des réflexions engagées en Europe et aux États-Unis pour développer une nouvelle génération d'ATM (SESAR), il convient de mener les travaux permettant l'émergence d'un « Air Traffic Management » horizon 2050 permettant une optimisation plus poussée du trafic aérien, visant à la fois la sécurité, la fluidité, la réduction de consommation d'ensemble. Dans ce nouvel ATM permettant l'optimisation multicritères, les avions sont des membres actifs d'un réseau sol - satellites - aéronefs; il favorise une collaboration d'ensemble bien au-delà des systèmes actuels et permet ainsi d'accroître à la fois la densité du trafic aérien et la fluidité à proximité des aéroports.

* *T7 Certification par calculs*

La certification des aéronefs est basée sur des dossiers de certification constitués d'éléments de justification de la conception par calculs et par essais. Bien qu'ayant été progressivement réduite, la part des essais constitue toujours une part élevée des coûts de développement et demeure l'une des causes majeures de la durée des développements. Le développement de la simulation numérique multi-physique, elle-même validée sur essais; le développement des connaissances dans l'évaluation de la fiabilité et du management des risques, permettent d'envisager une nouvelle étape à l'horizon 2050 dans laquelle les aéronefs seraient principalement certifiés par calcul. Cette approche nécessiterait d'accroître le niveau de fiabilité des outils numériques qui eux-mêmes pourraient devenir des éléments certifiables du processus de développement.

⁹⁴ Récupération d'énergie et son stockage sous forme électrique

⁹⁵ Roulage

* *T8 Architectures d'aéronefs innovantes*

Les architectures des avions ont très peu évolué depuis l'apparition des avions motorisés par réaction; l'accrochage des moteurs sous l'aile a permis l'émergence des moteurs à haut taux de dilution et de réduire la consommation et les nuisances sonores. Les progrès les plus récents montrent que ces architectures s'approchent de butées en performance. De nombreux concepts peuvent être imaginés (moteurs enterrés, hélices rapides contrarotatives...) mais les écarts par rapport aux architectures classiques nécessitent de relever de nombreux défis et un travail très important de maturation du système intégré. Ces sujets, par nature pluridisciplinaires nécessitent une capacité d'intégration Produit et Multi-métiers.

* *T9 Technologies pour aérodynamique à traînée réduite... vers une nouvelle aérodynamique des aéronefs*

Une baisse importante de la consommation de carburant pourra être atteinte en poursuivant les travaux visant à la réduction de la traînée par en aérodynamique (laminarité et réduction du frottement turbulent). Si certaines de ces technologies sont utilisées actuellement, un grand nombre d'entre elles nécessitent d'être développées du point de vue conceptuel et industriel : allongement de l'aile; « *winglet* »⁹⁶; optimisation des profils; nouvelles configurations, contrôle des Décollements (mâts, fuselage...), laminarité; « *riblets* »⁹⁷ ; ailes à cambrure variable, pales à vrillage actifs, gouvernes fluidiques...

* *T10 Propulsion distribuée*

Les progrès réalisés dans les domaines du calcul et expérimentaux, ainsi que dans les nouveaux matériaux, structures et contrôles permettent d'envisager un niveau d'intégration plus poussé qu'actuellement des systèmes de propulsion dans la conception des aéronefs. L'objectif est de tirer bénéfice de la distribution de propulseurs multiples sur l'avion , favorisant aussi l'apparition d'architectures d'avions en rupture, réduisant la consommation de manière directe ou en utilisant les technologies de récupération d'énergie, favorisant l'optimisation multipoints au cours de la mission des aéronefs.

* *T11 Hélices à très hautes performances et silencieuses*

Les générations actuelles d'hélices pour hélicoptères et avions régionaux sont des sources sonores intenses qui limitent leur utilisation (gêne environnementale, confort passager,...) Ces modes de transport pourraient fortement progresser si des progrès significatifs pouvaient être réalisés. Or, les nouvelles capacités de modélisation multi-physique (couplage fluide-structure-acoustique) ainsi que les nouvelles générations de matériaux et d'actuateurs permettent d'envisager des technologies en rupture réduisant très fortement les limitations actuelles d'utilisation. Différents aspects pourront être développés : contrôle actif des pales; pales adaptatives ; hélices propulsives adaptées aux grandes vitesses ; rotor actif sans plateau cyclique ...

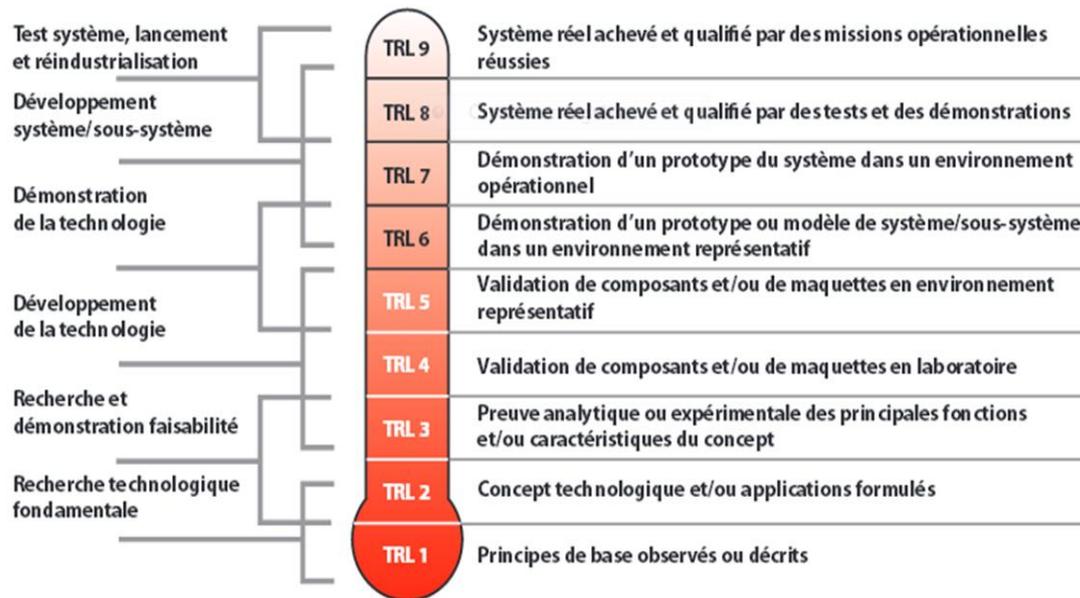
⁹⁶ Forme particulière d'extrémité d'aile

⁹⁷ Petites protubérances réparties sur l'aile pour améliorer l'écoulement aérodynamique dans certaines conditions de vol

Annexe 7. Les niveaux de maturité technologique

La notion de TRL ou « *Technology Readiness Level* » a été introduite il y a une vingtaine d'années aux USA par la NASA et le DoD.⁹⁸

Le diagramme ci-dessous, en français, est issu d'un document de la DGA.



On évoque dans le présent document à maintes reprises la difficulté qu'il y a à passer le cap des TRL 4-5-6. Jusqu'au TRL 3 on se trouve la plupart du temps dans des labos de recherche, publics ou privés, avec des budgets encore modestes. Au TRL 6 il est clair que le ou les industriels concernés sont fortement impliqués, et que pour beaucoup de développements, c'est en millions d'Euros qu'il faut compter. Le passage des TRL 4 et 5, en France, est souvent difficile, les labos n'ayant pas les ressources suffisantes et/ou l'industriel concerné ne croyant pas encore suffisamment à la viabilité de l'innovation...

⁹⁸ Voir par exemple : http://fr.wikipedia.org/wiki/Technology_Readiness_Level

Annexe 8. Glossaire

Acronyme	Signification
3AF	Association aéronautique et astronautique de France
AAE	Académie de l'air et de l'espace
ADP	Aéroports de Paris
APU	<i>Auxiliary Power Unit</i> (groupe auxiliaire de puissance)
ASD	<i>AeroSpace and Defence Industries Association of Europe</i> (Association des industries aérospatiales et de défense européennes)
ATM	<i>Air traffic management</i> (gestion du trafic aérien)
BMBF	<i>Bundesministerium für Bildung und Forschung</i> (Ministère fédéral de l'éducation et de la recherche - RFA)
BMWi	<i>Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie</i> (Ministère fédéral de l'économie et de l'énergie - RFA)
BRICS	Brésil, Russie, Chine, Corée, Afrique du Sud
¢	Centime d'euro
CA	Chiffre d'affaires
CAO	Conception assistée par ordinateur
CCFA	Comité des constructeurs français d'automobiles
CDG	Aéroport de Paris Charles de Gaulle
CEA	Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives
CFA	Centre de formation en alternance
CIR	Crédit d'impôt recherche
CNES	Centre national d'études spatiales
CNRS	Centre national de la recherche scientifique
CORAC	Conseil pour la recherche aéronautique civile française
CSF	Comité stratégique de filière
DGA	Délégation générale à l'armement (Ministère de la Défense)
DGAC	Direction générale de l'aviation civile
DLR	<i>Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt</i> (Centre allemand pour l'aéronautique et l'aérospatiale - RFA)
DoD	<i>United States Department of Defense</i> (Ministère de la Défense - USA)
EADS	<i>European Aeronautic Defence and Space company</i> (devenu Airbus group)
EASA	<i>European Aviation Safety Agency</i> (Agence européenne de sécurité aérienne)
EPIC	Etablissement public à caractère industriel et commercial
ESA	<i>European space agency</i> (Agence spatiale européenne)
ETI	Entreprise de taille intermédiaire (251 à 5000 salariés au sens de la réglementation française)

Acronyme	Signification
FAA	<i>Federal aviation administration</i> (Administration fédérale de l'aviation – USA)
GIFAS	Groupement des industries françaises aéronautiques et spatiales
IDEX	Initiative d'excellence
IESF	Ingénieurs et scientifiques de France
INSEE	Institut national de la statistique et des études économiques
LUFO	<i>Luftfahrtforschungsprogramms</i> (Programme cadre national de recherche aéronautique –RFA)
MIRES	Mission interministérielle recherche et enseignement supérieur
M€	Million d'Euros
Md€	Milliard d'Euros
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i> (Administration nationale de l'aéronautique et de l'espace - USA)
OCDE	Organisation de coopération et de développement économiques
OEM	<i>Original equipment manufacturer</i> (équipementier)
OMC	Organisation mondiale du commerce
ONERA	Office national d'études et de recherches aérospatiales
OPECST	Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques
PCRDT	Programme-cadre de recherche et développement technologique (UE)
PIA	Programme des investissements d'avenir
PIB	Produit intérieur brut
PME/PMI	Petite et moyenne entreprise ; petite et moyenne industrie (de 10 à 250 salariés au sens de la réglementation française)
PRES	Pôle de recherche et d'enseignement supérieur
R&D	Recherche et développement
R&T	Recherche et technologie
RTRA	Réseau thématique de recherche avancée
SBA	<i>Small Business Act</i> (législation américaine)
SESAR	<i>Single European Sky ATM Research</i> (programme de développement du système de nouvelle génération pour la gestion du trafic aérien européen)
TRL	<i>Technology Readiness Level</i> (niveau de maturité technologique)
UE	Union européenne