

**POLE INTERMINISTERIEL DE PROSPECTIVE ET D'ANTICIPATION DES
MUTATIONS ECONOMIQUES**



Etude des chaînes de la valeur dans l'industrie

**Etude des chaînes de la valeur dans l'industrie aéronautique
Janvier 2009**

Introduction

En matière d'anticipation des mutations économiques, certains services de l'Etat développent une « stratégie de l'offre » (c'est le cas par exemple des actions collectives et procédures des DRIRE). L'effort du PIPAME porte quant à lui sur la production de connaissances stratégiques dont le statut serait, au final, d'aider les acteurs à mieux percevoir les besoins futurs, à mieux décrypter les tendances ou facteurs de mutations qui affectent leur environnement.

Face aux problématiques de système et de complexité, le PIPAME aborde les sujets de manière collective et multidisciplinaire pour aider les décisions sectorielles à ne pas être myopes. Ceci implique le plus souvent de créer de la donnée économique nouvelle.

Au paradigme linéaire « observer, analyser, agir » il tente de substituer une démarche plus interactive : « capturer des informations, les interpréter pour les qualifier, intervenir sur des équilibres »

De façon concrète et dans le déroulement de l'étude sur les chaînes de la valeur dans l'aéronautique, cela s'est traduit par la participation au comité de pilotage d'un représentant d'Air France et par la mise en évidence par celui-ci du décalage entre l'environnement très évolutif auquel le transport aérien est confronté et les possibilités et délais de réaction de l'industrie en termes de produits.

Dans la pratique, cela a amené le cabinet DECISION à recentrer une partie des travaux sur l'articulation entre le transport aérien et l'industrie et d'autre part sur une vision globale de l'avion. Ce recentrage était nécessaire pour répondre à l'esprit des travaux du PIPAME. Le danger de décrire les seules chaînes de la valeur par système, tel que prévu initialement, était de s'enfermer dans l'existant sans faire, de façon exogène à l'industrie, le lien avec les mutations de l'environnement.

Membres du comité de pilotage :

- Pierre VELLAY, Air France, directeur de la flotte
- Jean-Luc TINLAND, Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de l'aménagement du territoire MEEDDAT, direction des programmes aéronautiques civils
- Claude MARCHAND, MINEFIE, DGE, chargé de mission aéronautique
- Bernard PAULRE, Université de Paris I La Sorbonne, professeur d'économie
- Christophe MATHIEU, ONERA, directeur du développement aéronautique
- Pierre CHARPENTIER, DRIRE Ile-de-France, chef de la Division Développement Industriel
- Jean-Philippe DUFOUR, Ministère de la défense / DGA / S2IE, chef du bureau aéronautique
- Anne BONDIOU-CLERGERIE, GIFAS, Directeur des affaires R&D et Espace
- Jean-Pierre LE PESTEUR, MINEFIE, PIPAME, directeur
- Thierry MENAGER, MINEFIE, PIPAME, chargé de mission

En outre ont participé à certaines réunions :

- Didier-François GODART, Safran, directeur du développement « Avion plus électrique »
- Nicolas NAUDIN, EADS, vice-président corporate strategy & planning
- Denis GARDIN, EADS, vice-président stratégie technologique
- Danielle KAHAN, EADS, senior manager corporate strategy & planning
- Ludovic LOISEL, Air France Industries, directeur stratégie et coordination Air France/KLM
- Henri HURLIN, Air France, responsable de la flotte moyen courrier, moteurs et carburants alternatifs
- Pascal CLEMENT, Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de l'aménagement du territoire MEEDDAT, conseiller
- Thomas BUENO, Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de l'aménagement du territoire MEEDDAT, direction des programmes aéronautiques civils
- Stéphane LE BRIS, DGA-S2IE, adjoint au chef de bureau aéronautique
- Lam FUNG LY, Ministère de la défense
- Jérôme PERMINGEAT, DRIRE Ile de France
- Olivier COULON, Paris I-La Sorbonne, étudiant

Composition de l'équipe du cabinet DECISION

- Didier COULON, directeur
- Gérard BRIARD, consultant
- Roger LARRIEU, consultant
- Myriam BONIFACE, consultante

Sommaire

1	L'environnement de l'industrie	12
1.1	L'évolution du contexte global	12
1.1.1	Une économie de plus en plus mondialisée	12
1.1.2	La fin de l'ère de l'énergie peu chère	13
1.1.3	L'émancipation des pays émergents	14
1.1.4	Le virtuel se substitue au réel.....	14
1.1.5	Des riverains qui se font mieux entendre	16
1.1.6	Des consommateurs toujours plus exigeants	18
1.2	Du transport aérien à l'industrie	19
1.2.1	L'évolution du transport aérien.....	19
1.2.2	Transport aérien et industrie : des constantes de temps différentes	19
1.2.3	Réduire les coûts en exploitation	24
1.2.4	Transfert des risques du transport aérien vers l'industrie	27
2	L'industrie aéronautique – analyse d'ensemble.....	29
2.1	L'outil chaîne de valeur	29
2.1.1	Méthode	29
2.1.2	Les spécificités du secteur aéronautique.....	29
2.1.2.1	Le rôle de la certification	29
2.1.2.2	Les règles de financement.....	32
2.1.3	Analyse de la chaîne de valeur générale avion.....	33
2.1.4	Evolution de la segmentation avion à plus long terme.....	35
2.1.4.1	Les nouveaux entrants	36
2.1.4.2	Des nouveaux critères de segmentation	38
2.2	Panoplie de réponses	40
2.2.1	Les réponses techniques.....	40
2.2.1.1	La génération de puissance.....	41
2.2.1.2	Les moteurs.....	42
2.2.1.3	Les matériaux.....	44
2.2.1.4	Les nouvelles architectures.....	46
2.2.2	Un exemple de réponse organisationnelle : la future gestion du trafic aérien... 48	
2.2.3	Les réponses en terme de « produits »	50
2.2.3.1	Les « avions low costs »	50
2.2.3.2	Les avions longs courriers.....	51
3	L'industrie aéronautique – analyse détaillée des CDV.....	53
3.1	Architecture – Maîtrise d'œuvre industrielle	55
3.1.1	Situation actuelle	56
3.1.2	Evolutions en cours.....	58
3.1.3	Problématiques pour le futur.....	60
3.2	Structures aéronautiques.....	61
3.2.1	Situation actuelle	61
3.2.2	Evolutions en cours.....	63
3.2.3	Problématiques pour le futur.....	64
3.3	Génération et distribution de puissance.....	66
3.3.1	Situation actuelle	66
3.3.2	Evolutions en cours.....	68
3.3.3	Problématiques pour le futur.....	68
3.4	Nacelles	69
3.4.1	Situation actuelle	69
3.4.2	Evolutions en cours.....	71

3.4.3	Problématiques pour le futur.....	71
3.5	Moteurs.....	73
3.5.1	Situation actuelle.....	73
3.5.2	Evolutions en cours.....	74
3.5.3	Problématiques pour le futur.....	76
3.6	Trains d’atterrissage.....	77
3.6.1	Situation actuelle.....	77
3.6.2	Evolutions en cours.....	78
3.6.3	Problématiques pour le futur.....	79
3.7	Freins.....	80
3.7.1	Situation actuelle.....	80
3.7.2	Evolutions en cours.....	81
3.7.3	Problématiques pour le futur.....	81
3.8	Pilotage.....	82
3.8.1	Situation actuelle.....	82
3.8.2	Evolutions en cours.....	83
3.8.3	Problématiques pour le futur.....	83
3.9	Divertissement à bord (DAB).....	84
3.9.1	Situation actuelle.....	84
3.9.2	Evolutions en cours.....	85
3.9.3	Problématiques pour le futur.....	85
3.10	Aménagements intérieurs.....	86
3.10.1	Situation actuelle.....	86
3.10.2	Problématiques pour le futur.....	87
4	Chaînes de valeurs régionales.....	88
4.1	Avions d’affaires.....	88
4.2	Mécanique.....	91
4.3	Maintenance.....	93
5	Annexes.....	101
5.1	Note sur l’évolutionnisme et sur l’analyse du changement.....	101
5.2	Evolution historique d’indicateurs socio-économiques.....	105
5.3	Evolution de la certification en France.....	109
5.4	Compte-rendu de l’entretien avec Air France.....	110
5.5	Compte-rendu des entretiens avec EADS et Boeing.....	114
5.6	Compte-rendu des entretiens avec le GIFAS et l’ONERA.....	119
5.7	Compte-rendu de l’entretien avec la DGAC.....	122
5.8	Les aspects militaires.....	124
5.9	Dualité civile / militaire dans les moteurs aéronautiques.....	126
6	Sigles.....	128
7	Bibilographie.....	130

Résumé de l'étude

Réfléchir à l'avenir de l'industrie aéronautique, c'est non seulement analyser les enjeux et les perspectives des différentes filières qui la composent, mais c'est aussi replacer cette industrie dans son environnement, le transport aérien et l'univers socio-économique qui l'entourent, pour examiner les mutations et les problématiques nouvelles auxquelles cette industrie aura à faire face. Le secteur aéronautique subit les exigences et les contraintes du transport aérien, il doit les intégrer dans sa propre logique industrielle.

Pour mieux comprendre l'état de l'art, les relations entre les acteurs, et leurs perspectives, l'étude propose à travers l'outil « chaîne de valeur » une analyse visant à faciliter un meilleur positionnement de l'industrie aéronautique pour les prochaines années.

L'univers global dans lequel évoluent ces activités est aussi en mouvement : l'économie se mondialise, les pays émergents s'émancipent, les contraintes environnementales et énergétiques sont plus fortes, les consommateurs (voyageurs ou non) ont des exigences nouvelles, l'univers virtuel concurrence de plus en plus le « réel ». La démarche industrielle du secteur aéronautique doit donc s'inscrire dans une logique qui ne correspond pas forcément à ses propres contraintes structurelles.

Les contraintes et les exigences du transport aérien :

- **L'évolution de l'activité du transport aérien est globalement connectée avec celle du PIB mondial, alors que l'évolution de l'activité de l'industrie aéronautique est en relation avec le lancement de programmes nouveaux plus économes qui incitent les compagnies au renouvellement de leur flotte.**
- **Le transport aérien recherche avant tout la baisse des coûts d'exploitation et les compagnies aériennes ont tendance à reporter autant que possible les risques d'obsolescence des appareils sur l'industrie à travers de nouveaux modes de contractualisation (facturation à l'heure de vol, au nombre de cycles ...).**
- **Les coûts liés à l'avion devront être globalement contenus. L'augmentation du poste carburant devra être compensée sur les prochaines générations non seulement par une consommation moindre mais aussi par des coûts de « coque » et d'entretien plus faibles. La masse, l'efficacité aérodynamique, les performances des systèmes propulsifs sont les principaux facteurs sur lesquels il faudra agir. Mais l'introduction de ces nouvelles technologies doit être compatible avec l'organisation de la maintenance.**
- **Du point de vue des compagnies, une véritable approche « garantie**

de la valeur d'usage» sur la durée de vie des avions reste à promouvoir dans le secteur.

La logique industrielle du secteur

La structure même de l'industrie génère un certain nombre de difficultés :

- La réduction du nombre d'acteurs industriels depuis les années 90 a entraîné une moindre concurrence et beaucoup de frustration pour les compagnies aériennes ;
- Le décalage entre l'urgence des besoins du transport aérien et les temps de réponse de l'industrie ;
- Les retards de plusieurs programmes en cours ou dans le lancement de nouveaux liés au manque de ressources humaines et financières pour conduire plusieurs programmes de front ;
- L'élargissement du spectre technologique (par exemple : hydraulique et électrique, composites et aluminium) pose des difficultés en opération et en maintenance ;
- Plus globalement et par rapport à d'autres secteurs, l'approche technologique prévaut encore largement dans l'industrie aéronautique. Le biais inhérent à ce type d'approche réside dans le fait qu'elle peut se faire au détriment de la vision par les besoins du marché et notamment de la valeur ajoutée perçue par le client. Elle ne favorise pas forcément non plus l'appréhension globale des nouvelles problématiques.
- L'introduction des nouvelles technologies semble actuellement plus conduire à une redistribution des positions des industriels déjà présents qu'à l'apparition d'ensembliers nouveaux au rang 1. La connaissance du milieu et la capacité à prendre en compte les contraintes de l'environnement aéronautique (optimisation, certification..) font que les nouveaux entrants, bien que sources d'innovation, ont plus vocation à se faire absorber par les industriels du secteur qu'à devenir des acteurs de rang 1. Par ailleurs la tendance chez les avionneurs est à la concentration des contrats ce qui ne peut favoriser l'entrée de nouveaux industriels au rang 1.
- La situation de duopole de Boeing/Airbus les amène à faire des choix d'investissement en fonction de la compétitivité¹ et non en fonction des besoins du marché. Le lancement de nouveaux programmes est aussi conditionné par les disponibilités financières et la capacité d'ingénierie des avionneurs ;

Enfin, il existe un décalage entre les besoins du transport aérien et ce que l'industrie aéronautique est en mesure de fournir.

L'activité du secteur comprend non seulement l'activité « construction neuve » mais également la partie « rechanges, modifications » qui

¹ Retarder l'introduction d'une nouvelle génération d'avion pour amortir la précédente sur une période plus longue.

équivalait pour certains postes (moteurs, aménagements intérieurs) à deux ou trois fois le volume d'activité neuf.

Les nouveaux entrants (Brésil, Canada, Russie, Chine) qui attaquent la capacité 90-140 sièges à partir de leurs compétences initiales dans les avions régionaux, constituent pour le duopole Airbus et Boeing un des défis les plus importants pour le futur.

La segmentation actuelle (AR, CC, MC et LC) est sans doute appelée à évoluer sous l'influence des avionneurs régionaux qui percent le marché des avions commerciaux par le bas (avions régionaux / courts courriers) mais aussi sous l'influence des compagnies qui utilisent courts courriers et moyens courriers sur des distances identiques.

La panoplie de réponses des acteurs

Les solutions techniques :

- **La tendance au développement des systèmes électriques au détriment des systèmes hydrauliques ou mécaniques constitue un enjeu stratégique pour l'industrie : les industriels de l'aéronautique garderont-ils la maîtrise de ces systèmes ou seront-ils concurrencés par de nouveaux entrants spécialisés ?**
- **La disponibilité des moteurs donne le rythme de lancement de nouveaux programmes d'avions. Par ailleurs l'évolution des moteurs est au cœur des enjeux environnementaux et économiques du transport aérien. Les objectifs sont d'atteindre à horizon 2020 des gains en consommation et émission de CO₂ (-50 %), en émission de NO_x (-80 %) et en réduction de bruit perçu (-50 %).**
- **L'emploi de plus en plus répandu des matériaux composites répond au besoin de diminution de la masse pour réduire la consommation. Cela nécessite une filière industrielle spécialisée qui doit s'organiser pour optimiser les coûts (dichotomie entre la réalisation des prototypes et pièces spécifiques et les pièces dont la production peut être automatisée).**
- **Les architectures pourront évoluer vers d'une part des architectures novatrices dans les longs courriers (aile volante ou ailes rhomboédriques) et des architectures plus traditionnelles dans les courts et moyens courriers. Cette segmentation produit peut s'accompagner d'une spécialisation des industriels.**
- **La réponse du type avion low cost n'est pas à écarter mais il faut souligner que cet avion, produit dans un pays à bas coût, devra, pour attaquer le marché mondial, aussi être un avion à bas coût d'exploitation.**

- **L'avion à long rayon d'action est plus exigeant en terme d'économie de coût d'exploitation. Sa capacité permet également des économies de carburant par passager. Ce segment tire donc la technologie et peut ainsi permettre à l'industrie occidentale de conserver une avance.**
- **Les architectures du type aile volante cargo et open rotor modifieront les relations hiérarchiques entre les différents acteurs de la filière.**

Les solutions organisationnelles

Les modèles économiques des acteurs sont-ils bien adaptés aux turbulences brutales de l'économie mondiale :

- **Les communications entre l'avion et le sol vont évoluer pour améliorer la gestion du trafic et la sécurité. La création de ces nouveaux systèmes d'interface constitue des enjeux industriels riches d'opportunités.**
- **Les risques de percée industrielle des pays à bas coût de main d'œuvre ne sont pas à négliger, même si la notion d'avion à « bas prix de fabrication » doit être mise en parallèle avec les coûts d'exploitation.**
- **Les avions longs courriers présentent des caractéristiques qui peuvent aboutir à des spécialisations de certains avionneurs et à la diffusion de certaines avancées technologiques aux autres types d'avions.**

L'étude s'intéresse uniquement aux avions commerciaux.

1 L'environnement de l'industrie

L'activité du transport aérien et les relations entre les différents acteurs sont fortement influencées par le contexte socio-économique et l'environnement. A travers différents scénarios qui peuvent éventuellement se combiner, nous indiquerons les réponses proposées par l'industrie ou les pistes de réflexion que ces situations suggèrent.

Six tendances, permettant d'appréhender les changements de comportement des consommateurs, des utilisateurs, et des autres parties prenantes de l'industrie aéronautique ont été sélectionnées au cours des comités de pilotage, des réunions intermédiaires et des entretiens conduits par les consultants de DECISION. Les six scénarios choisis sont les suivants :

- « une économie de plus en plus mondialisée »
- « la fin de l'ère de l'énergie peu chère »
- « l'émancipation des pays émergents »
- « des consommateurs toujours plus exigeants »
- « des riverains qui se font mieux entendre »
- « le virtuel se substitue au réel »

Une autre tendance qui paraît la plus vraisemblable, au moins à court terme, est celle d'une absence de rupture brutale dans le comportement des consommateurs. Ces scénarios d'évolution sont utilisés pour interroger les différentes chaînes de la valeur sur leur réponse possible en termes d'adaptation.

1.1 L'évolution du contexte global

1.1.1 Une économie de plus en plus mondialisée

Une croissance générale forte mais qui creusera les inégalités entre continents.

La mondialisation – une interconnexion croissante de flux financiers, d'informations, de biens, de services, et de personnes – est une « méga-tendance » qui dominera toutes les autres pendant les vingt prochaines années.

L'économie mondiale continuera à croître de façon impressionnante malgré des aléas conjoncturels : par exemple, en 2020, le revenu par personne devrait être en moyenne 50% ² plus élevé qu'en l'an 2000. Beaucoup de régions du monde vont connaître une prospérité sans précédent et beaucoup d'anciens pays pauvres verront la naissance d'une large classe moyenne. Pour autant, les bienfaits de la mondialisation ne seront pas universels. La plupart des pays peu internationalisés, donc peu connectés à l'économie mondiale, resteront dans la pauvreté. C'est notamment le cas des pays

² Groupe Prospective du Sénat

d'Afrique subsaharienne. Les pays qui bénéficieront le plus de la mondialisation seront ceux qui ont pu accéder et adopter les technologies pour nourrir leur propre développement. De même, les nouvelles multinationales seront de moins en moins occidentales, et plus asiatiques.

Enfin, une économie mondiale en expansion impliquera une hausse de la demande de matières premières, et plus particulièrement de pétrole. Les quantités consommées devraient augmenter de 50% durant les deux prochaines décennies, alors que la hausse entre 1981 et 2000 n'était que de 34%.

Pour accéder à tous les marchés, pour répondre aux préoccupations et réglementations locales et pour résister aux fluctuations de parités, **les acteurs doivent se localiser où se situe la demande : Amérique, Europe, Asie.**

1.1.2 La fin de l'ère de l'énergie peu chère

La fin de l'énergie peu chère et l'importance des contraintes environnementales (coût du carbone) marqueront les prochaines années.

Le déclin progressif de la production pétrolière mondiale à partir d'un « pic » envisagé entre 2010 et 2030 entraînera une raréfaction et un renchérissement du pétrole. Cette hausse du prix risque, en outre, d'être amplifiée, dans le contexte actuel de la prévention des changements climatiques, par la mise en place de taxes associées aux émissions de carbone (le respect de l'environnement étant devenu une préoccupation majeure pour la plupart des usagers des transports).

Pour Air France / KLM, la facture de kérosène est passée de 61 milliards de dollars en 2004 à 135 milliards en 2007 et devrait dépasser 150 milliards en 2008. Le carburant représente actuellement entre 25 % (court courrier) et 44 % (long courrier) des coûts globaux d'exploitation contre respectivement 10 à 15 % en 2003.

On estime aujourd'hui que le transport aérien représente 2,5% des émissions totales de CO₂ au plan mondial. Cependant, il faut noter que, selon l'OACI, la croissance de ces émissions est inférieure à celle du trafic (1,7%, contre 3% pour le trafic par an). En France, en 2005, les émissions de CO₂ représentaient 20,9 millions de tonnes. Source : DGAC.

Ces deux éléments militent impérativement pour la réduction de la consommation, déjà les nouvelles générations d'avions sont plus économes en carburant (entre un Boeing 747-300 et un Boeing 777, l'écart de consommation est de 26% ; Entre un Airbus 320 des années 1980 et un A320 actuel, l'écart est de l'ordre de 12%).

Malgré ce souci écologique fort, les consommateurs veulent voyager sans payer plus cher.

1.1.3 L'émancipation des pays émergents

L'arrivée de ces nouveaux pays va modifier la donne : modification de certains flux de transport, émergence de nouveaux acteurs industriels.

Selon les experts de l'ONU, la population mondiale devrait croître de 50% d'ici à 2050. Cette forte croissance concernera surtout les pays en voie de développement, alors que la population des pays actuellement développés restera stable. Cette forte croissance devrait être marquée également par une tendance à la concentration urbaine.

Le rythme de croissance du transport aérien au niveau mondial pour les vingt prochaines années se situe dans une fourchette de 4 à 5 % par an en passagers x km, alors que pour les pays d'Asie (en particulier la Chine) le rythme annuel est de l'ordre de 7 à 8 % par an.

Ces puissances émergentes – la Chine, l'Inde, et peut-être d'autres comme le Brésil ou l'Indonésie – peuvent potentiellement remettre en cause les anciennes dichotomies Est/Ouest, Nord/Sud, pays alignés/non alignés, développés/en voie de développement. Si le vingtième siècle était américain, le vingt-et-unième sera sûrement asiatique, grâce à la combinaison d'une croissance économique soutenue, et d'une population élevée.

Le monde conçu comme un village est devenu une réalité, les informations circulent, les goûts des usagers se copient, les habitants des pays en développement veulent s'inspirer des modes de vie des pays les plus riches...

Certains de ces pays sont déjà devenus les « usines du monde » (cas de la Chine en électronique) ils souhaitent disposer de systèmes de transports nationaux et en particulier, lorsqu'ils le peuvent, développer une industrie aéronautique. Les transferts de technologie, liés aux contrats de vente des nouveaux avions, constituent bien souvent un passage obligé pour obtenir un marché. Les pays industrialisés sont donc « condamnés » à alimenter leur concurrence future pour développer leurs ventes actuelles ; en conséquence, ils doivent développer de nouvelles technologies qui leur permettront de garder un avantage concurrentiel.

1.1.4 Le virtuel se substitue au réel

Le monde virtuel et l'importance de l'économie numérique génèrent de nouveaux besoins en équipements à bord et peuvent modifier certains comportements.

Le développement des technologies de l'information et de la communication (TIC) offre des perspectives considérables : un monde virtuel est à notre

portée, autorisant toutes les audaces et les plaisirs, pratiquement sans risque, sauf à en être dépendant et à perdre le sens des réalités.

Ainsi pour Joël de Rosnay (table ronde Futuribles du 11 juin 2007)
« l'Internet sera intégré de façon tellement fine à l'environnement qu'on ne le remarquera même plus, à l'instar de l'électricité. Internet sera partout ... D'ici à 2020, nous serons passés à un Web intuitif dont l'écran est notre environnement, dans lequel les lieux de visualisation et de connexion sont partout et non pas seulement dans un espace prédéfini. »

Les considérations écologiques qui se sont largement diffusées incitent à limiter les déplacements qui génèrent du CO₂ et contribuent au réchauffement climatique. La technologie et la protection de la planète nous invitent donc à remplacer, dans une certaine mesure, la « mobilité physique » par une « mobilité virtuelle ».

D'ores et déjà les « webcams » (caméras connectées au Web) permettent de voir en temps réel ce qui se passe d'un bout à l'autre de la planète (il est possible également de voir un mini-film réunissant les prises de vues faites toutes les 2 minutes visualisant en 45 secondes les 24 heures de la journée).

Profitant des avancées techniques en matière de vidéo interactive (navigation à 360°) et des outils de cartographie interactifs, une équipe a développé des sites sur certaines villes du monde : "le portail de la réalité virtuelle du Monde". La navigation combine les photos satellites et la cartographie classique de *Google Maps* comme point de départ. Les centres d'intérêt touristique sont repérés sur ces plans et pointent vers des vidéos interactives sur 360° qui permettent une visite virtuelle, système déjà connu des habitués des cédéroms de musées. Il est donc possible de rêver en faisant du tourisme virtuel.³

La culture du risque zéro et le principe de précaution peuvent également expliquer cet attrait pour les voyages virtuels. Le monde actuel est marqué par l'existence de nombreux conflits, certes localisés, mais qui constituent des menaces potentielles pour les déplacements.

Au plan professionnel, les attraits de la sphère numérique sont particulièrement intéressants et permettent à la fois des économies et des gains de productivité. Deux exemples :

- Le développement de la téléconférence rend possible la communication entre différents services repartis dans le monde en évitant des déplacements.
- L'ingénierie concourante permet grâce aux outils numériques, de

³ Un autre exemple de transfert vers un monde virtuel est illustré par « Second Life ». Second life est un univers virtuel en trois dimensions. Il permet à l'utilisateur de vivre une « seconde vie ». Second life n'est pas un jeu, mais un espace d'échanges visant à être aussi varié que la vie réelle. Cet univers est également un outil marketing permettant de tester des nouveaux produits.

concevoir simultanément le même objet dans différents lieux du globe. Cette méthode permet d'accélérer l'efficacité et la qualité du processus de développement des produits ; l'exemple du projet VIVACE est particulièrement intéressant à signaler.

VIVACE (Value Improvement through a Virtual Aeronautical Collaborative Enterprise) est un consortium d'environ 65 partenaires (industriels, instituts de recherche, universités) de 11 pays européens. VIVACE a été prévu sur un programme initial de 2004 à 2007 et a travaillé en cohérence avec l'ACARE (Advisory Council for Aeronautics Research in Europe) et les différents programmes des Etats et de la Commission (notamment Vision 2020).

VIVACE vise à créer un environnement pour la conception collaborative dans l'aéronautique en développant des modèles, des méthodes et des procédés communs. En particulier, VIVACE visait les objectifs suivants :

- 5% de réduction des coûts de développement des avions ;
- 5% de réduction du temps de développement ;
- 30% de réduction des délais et 50% de réduction des coûts de développement d'une nouvelle turbine à gaz.

Ces objectifs doivent être obtenus par l'intermédiaire d'un reengineering, la modélisation et la simulation avancées dans un environnement d'ingénierie simultanée. VIVACE se compose de trois sous-projets :

- Avion virtuel, destiné à créer une boîte à outils (conception, modélisation, interface et tests) utilisables dans un « environnement mondial » ;
- Moteur virtuel, le pendant du précédent dans le domaine des moteurs ;
- Capacités avancées, sous-projet dont l'objectif est de développer des outils transverses (optimisation multidisciplinaire..), des méthodes et des directives (dans le domaine par exemple des systèmes d'information, des supports de réseau d'entreprises ...)

Cette connectivité croissante entre les personnes et/ou les groupes génère la prolifération de communautés d'intérêt virtuelles et transnationales qui peuvent compliquer les tentatives des États et des institutions à établir des consensus internes, et à faire respecter des décisions.

L'ère du numérique c'est également pour le voyageur aérien le besoin de « rester connecté » tout au long de son déplacement. Cette attente génère un besoin en nouveaux équipements tant à bord de l'avion qu'au sol. Ces nouveaux systèmes électroniques doivent être pris en compte dans la conception d'ensemble des avions.

1.1.5 Des riverains qui se font mieux entendre

Les aspirations à la limitation des nuisances prennent de plus en plus de poids vis à vis de l'industrie.

Les notions de « qualité de vie », de « bien-être » sont aujourd'hui particulièrement répandues dans nos sociétés développées. Leur importance a donné naissance à des groupes de pression particulièrement structurés qui trouvent des relais auprès des Pouvoirs Publics. Il ne s'agit donc pas ici d'un phénomène « passager » mais d'une tendance lourde qui impactera les évolutions futures du transport aérien.

De plus en plus d'études insistent sur les effets du bruit sur la santé : le sommeil et sa qualité sont directement affectés, mais aussi le bruit aurait un impact important sur le système cardio-vasculaire.

« En 2005, environ 2 460 000 habitants du Bassin parisien sont concernés par des survols inférieurs à 3 000 mètres d'avions à destination et/ou en provenance des aéroports de Paris-CDG et de Paris-Orly ». Source : ACNUSA Etude survols IDF 2005.

On peut comprendre dès lors le souci des riverains des aéroports de voir diminuer ce risque pour la santé.

Outre ce risque pour la santé, ces nuisances sonores se traduisent également par la paupérisation des zones les plus exposées, alors que les alentours bénéficient des retombées économiques et fiscales de l'aéroport. L'immobilier connaît une hausse moindre dans les zones soumises à des nuisances sonores.

Lorsque l'indice des prix du logement connaissait une progression de plus de 80% en petite couronne entre 1996 et 2005, il n'augmentait que de 28% pour les 9 communes de l'échantillon (communes situées à proximité des aéroports.) Source : Institut d'Urbanisme de Paris - décembre 2005.

Les aéroports proches des centres urbains ont vu, au cours des années, leur emprise subir les contraintes d'une urbanisation forte à leur proximité immédiate limitant à la fois leur capacité à se développer et générant des nuisances considérables pour ces « nouveaux riverains ». Avec l'accroissement du trafic, les besoins d'espaces sont de plus en plus grands : pistes supplémentaires, terminaux, zones de stationnement des avions, voies d'accès.... Dans le cas du fret, même si les aéroports peuvent s'éloigner des zones urbanisées, les nuisances ne disparaissent pas : le transport d'acheminement, en grande partie par la route, devient gênant et les zones concernées subissent des nuisances sonores d'autant plus mal perçues par les riverains (certes moins nombreux) qu'elles viennent perturber un environnement paisible.

Dans un monde caractérisé par la montée de l'individualisme et la naissance d'une « société des tribus » mettant en avant le « souci du soi » et de la vie privée, la demande de services personnalisés, la constitution de groupes fermés sur eux-mêmes et l'apparition de plus en plus fréquente du syndrome « NIMBY » (not in my backyard : pas dans mon jardin), les aménageurs ont de plus en plus de difficultés à faire admettre le bien commun en matière d'aménagement du territoire.

1.1.6 Des consommateurs toujours plus exigeants

Les consommateurs deviennent plus actifs et plus puissants.

Les voyages aériens connaissent sans doute la rançon de leur succès. Les contraintes de sûreté (formalités, attentes dans les aéroports, surcoûts par le jeu des taxes d'aéroport en France) augmentent sans cesse ; les retards ne sont pas rares ; les bagages tardent à arriver ; l'accès à l'avion relève parfois du jeu de piste ... Malgré tout, le trafic voyageurs augmente, même si les usagers aspirent à une meilleure qualité de service.

La conception des aéroports et le mode de traitement des flux de passagers restent anciens malgré l'automatisation de nombreuses procédures. Le temps entre l'arrivée du passager et l'embarquement est actuellement trop long et vécu comme une perte de temps. Réussir à réduire ce temps à une trentaine de minutes constituerait une avancée considérable. La généralisation de procédures de type « navettes » et, le développement des « guichets automatiques » d'enregistrement des passagers et des bagages pourrait amorcer des pistes pour l'aérogare du futur. Dans un monde qui va de plus en plus vite, la régularité des vols et la quasi-certitude d'un respect de l'horaire constituent des demandes fortes de la part des usagers.

Le consommateur souhaiterait sans doute bénéficier d'une offre de « mobilité » qui lui apporterait une solution globale à ses besoins de déplacement plutôt qu'une série d'offres modales qu'il est contraint de gérer. Cette « solution globale » permettrait également une meilleure prise en compte des problèmes d'environnement en choisissant la meilleure combinaison possible entre les différents modes de transport.

L'exigence du consommateur se traduit également par une tendance à la judiciarisation des rapports entre l'utilisateur et le transporteur. Le traitement juridique ou judiciaire s'impose de plus en plus, au détriment du dialogue. Les associations au service de groupes ou de « minorités » se multiplient, usant du droit pour faire valoir leur cause.

L'industrie aéronautique est une industrie avec des cycles longs et à évolution lente, le plus souvent par filiation ou par introduction progressive. Une évolution lente est rassurante pour tout le monde les industriels, les compagnies aériennes, les autorités de tutelle, les gérants des aéroports, les consommateurs, les actionnaires, les financiers. Finalement, l'idée selon laquelle les consommateurs ne changent pas leur mode de consommation de façon radicale est fortement liée au fait que les industriels ne proposent pas de changements radicaux (tout du moins des changements visibles par le consommateur) dans leur gamme de produits.

Tous les scénarios présentés ci-dessus illustrent des tendances lourdes qui influenceront l'industrie dans une perspective de long terme ; mais les habitudes des consommateurs se modifient lentement. L'industrie aéronautique est une industrie avec des cycles longs et à évolution lente, le

plus souvent par filiation ou par introduction progressive d'innovations qui ne sont pas toujours visibles par le consommateur. (Les nouvelles générations d'avions arrivent tous les 20 ans).

1.2 Du transport aérien à l'industrie

Des contraintes structurelles qui pèsent sur l'industrie.

1.2.1 L'évolution du transport aérien

Le transport aérien a commencé à se libéraliser à partir des années 1970. Il reste aujourd'hui encore relativement prisonnier de son histoire :

- Le contrôle aérien est resté l'affaire des seuls Etats ce qui n'est pas allé sans poser des problèmes de cohérence pour les vols internationaux ;
- Les liaisons terrestres des aéroports sont établies essentiellement sur la base de liens autoroutiers pour beaucoup aujourd'hui saturés ;
- Les aéroports et liaisons aériennes sont considérés comme un levier de l'aménagement du territoire ;
- ...

L'industrie aéronautique de son côté est restée longtemps une activité où les Etats jouaient des rôles importants (actionnaire, financeur, certificateur voire spécificateur).

Cette situation change :

- En Europe, l'EASA⁴ s'apprête à devenir responsable d'ici quelques années des normes de sécurité concernant les aéroports et les systèmes de gestion du trafic aérien, elle joue d'ores et déjà un rôle dans la définition des normes de sécurité de ces futurs systèmes ;
- L'EASA a réalisé sa première certification, celle de l'A380, pour l'ensemble des pays européens (décembre 2006) ;
- L'Europe et les Etats-Unis travaillent à des projets visant à faire évoluer le contrôle du trafic aérien vers un système plus global (C. f. 2.2.2) capable non seulement de prendre en compte les aspects de sécurité mais également l'optimisation des vols sur des critères économiques ;
- Air France envisage d'utiliser la libéralisation du transport ferroviaire pour affréter des rames TGV et ainsi optimiser l'interconnexion rail / aéroport / compagnie.

1.2.2 Transport aérien et industrie : des constantes de temps différentes

L'évolution de l'activité du transport aérien est globalement connectée avec celle du PIB mondial.

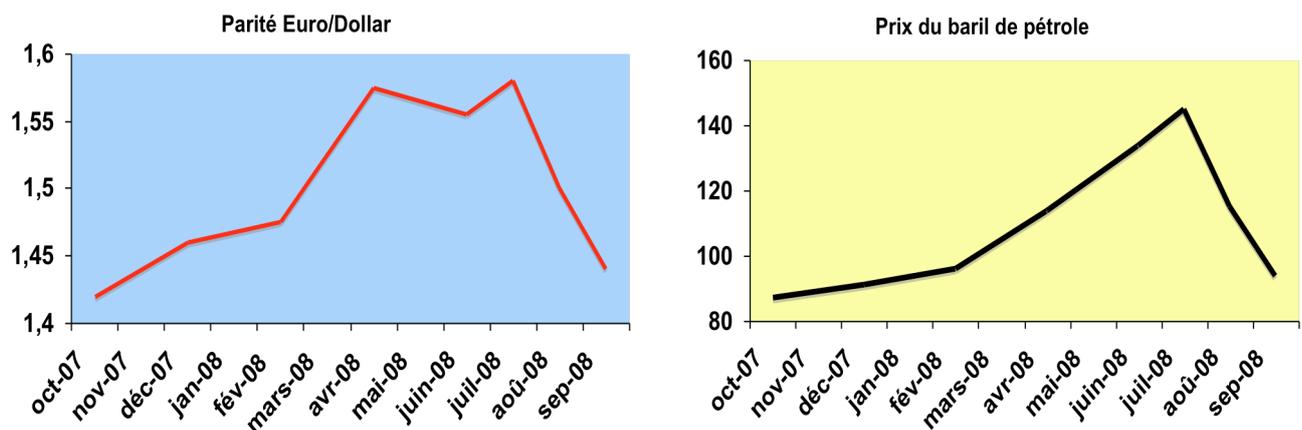
Un contexte économique défavorable au transport aérien se traduit

⁴ European Aviation Safety Agency

directement par une baisse des commandes. Un mode de facturation lié au service (heure de vol par exemple) rend les industriels encore plus vulnérables.

Dans un contexte économique général particulièrement mouvementé (évolution du prix du pétrole, évolution du cours de l'euro), la croissance du marché du transport aérien pourrait être remise en cause brutalement.

L'évolution du contexte en un an



On estime que l'élasticité de la demande en transport aérien au PIB est environ égale à 2. En clair, si le PIB augmente de 3 %, la demande en transport aérien augmentera de 6 %. **Le transport aérien repose donc fortement sur le niveau économique global.**

On peut distinguer des variables exogènes quasiment impossible à anticiper comme :

- variables sur la croissance mondiale :
 - crise financière, drame écologique, etc.
- variables sur l'élasticité
 - terrorisme, pandémie, etc.

Une récession économique se traduit tout d'abord par des effets négatifs dont la baisse des investissements et des frais de fonctionnement des entreprises (ralentissement de la R&D...). L'arbitrage des ménages se fait dans un tel contexte en faveur de l'épargne de précaution au détriment des dépenses de tourisme.

Dans un tel contexte les compagnies aériennes n'arrivent pas ajuster leur offre aux nouvelles conditions du marché et sont conduites à faire voler des avions à moitié vides comme en 2001 où le coefficient de remplissage moyen avait diminué de 3% pour se situer à 68%. Elles supportent des coûts

supplémentaires ce qui réduit leurs marges et leur capacité d'investissement. Ce phénomène détériore les bilans financiers des compagnies aériennes, elles jouent sur l'allongement de la durée de vie des avions et limitent voire annulent certaines de leurs commandes

Des différences existent avec le scénario du troisième acteur. La première est l'aspect temporel. L'émergence d'un nouvel acteur est prévisible et progressive, la réduction du carnet de commandes peut être anticipée et les avionneurs peuvent ajuster leur structure de production. Une attaque terroriste est imprévisible et elle réduit drastiquement du jour au lendemain le volume du trafic aérien ce qui se répercute sur les commandes. Suite aux attaques du 11 septembre, Airbus n'avait engrangé en 2002 que 233 commandes d'avions, soit un recul de 20% par rapport à 2001. De plus, la baisse de la demande de transport aérien réduit la demande globale de biens aéronautiques pièces de rechange comprises. Avionneurs et équipementiers sont donc touchés alors que l'apparition d'un nouvel avionneur sur le marché ne génère pas forcément une baisse des commandes chez les équipementiers et les sous traitants qui ont plusieurs clients. Un ralentissement économique aurait donc un impact négatif sur l'ensemble les acteurs de l'industrie aéronautique alors que l'arrivée d'un troisième acteur épargnerait les équipementiers.

En plus des conséquences en matière de prises de commandes et livraisons d'avions neufs, les conséquences financières pour celles des entreprises qui ont des facturations liées aux services, à l'heure de vol ou au nombre d'atterrissages et donc extrêmement dépendantes de l'activité aérienne peuvent être catastrophiques.

Il peut donc s'agir également de vérifier si les modèles économiques des entreprises fortement liées à l'activité des compagnies aériennes sont résistants à ce type de scénario.

Les paliers de la courbe KPT ci-dessous (kilomètres x passagers transportés) sont liés à des événements précis.

- 1979 : 2ème choc pétrolier (révolution iranienne) ;
- 1991 : Guerre Irak / Koweït ;
- 2001 : Twin Towers ;
- 2008 : Augmentation du prix du baril ?

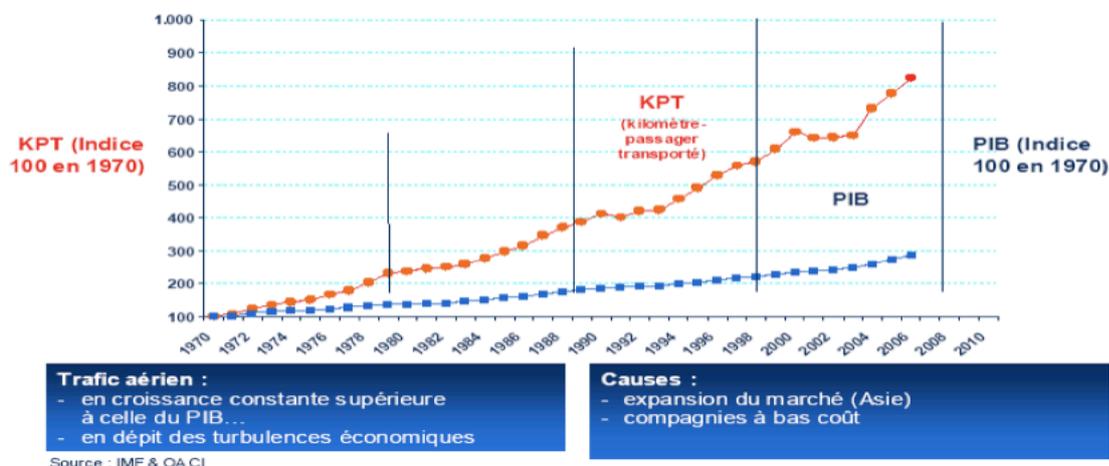
Il ne s'agit donc pas vraiment d'un phénomène "périodique" mais de crises découplées. L'épidémie de grippe aviaire aurait pu d'ailleurs déclencher une crise similaire ou prolonger celle de 2001.

Transport aérien

Une croissance restant globalement liée à l'évolution du PIB...

Propulsion Aéronautique et Spatiale

Trafic international et PIB



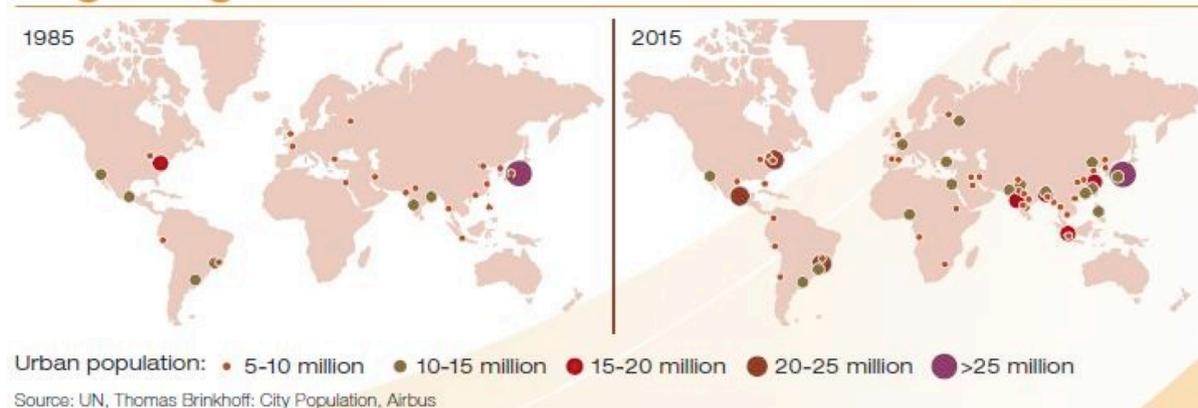
Investor Day – 30 novembre 2006

7



Le trafic s'organisera au tour de grands hubs correspondant aux mégapoles (en 2025 plus de 300 villes dépasseront les 5 millions d'habitants). Le nombre de lignes à forte densité de trafic sera donc amené à croître.

Larger mega-cities



La courbe d'évolution de l'activité de l'industrie aéronautique (ci-dessous) apparaît comme relativement découplée. Si la courbe des commandes reste très dynamique, il faut considérer qu'elle est en relation avec les phénomènes suivants :

- Le lancement de programmes nouveaux et les perspectives d'économie en exploitation des programmes nouveaux qui incitent les compagnies au renouvellement de leur flotte ;

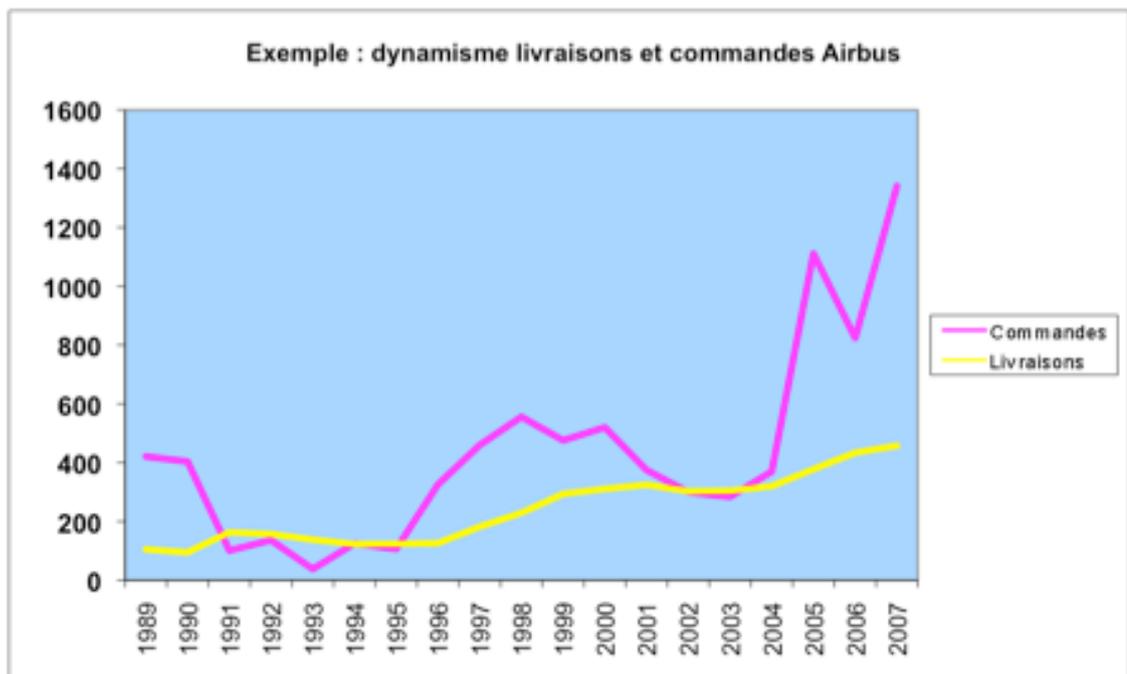
- Dans ce contexte l'augmentation du prix du baril au début des années 2000 a favorisé le développement de l'industrie en incitant les avionneurs et les motoristes à lancer de nouveaux programmes ;

Le secteur aéronautique semble donc être devenu robuste. Notons cependant que l'industrie n'a pas connu depuis la crise du début des années 1990 une conjonction des phénomènes suivants :

- baisse des budgets militaires
- niveau des commandes civiles quasi nul,
- niveau de production sous-critique
- absence de programmes nouveaux pour alimenter les bureaux d'études.

Industrie aéronautique

... l'industrie connaît quant à elle des à coups



La comparaison entre, d'une part, les contraintes du transport aérien et, d'autre part, la capacité de réponse de l'industrie aéronautique révèle un certain décalage :

Transport aérien	Industrie aéronautique
Triplement du prix du carburant en 5 ans et augmentation de la pression environnementale	Industrie à long cycle d'introduction de nouvelles technologies (moteurs : 15 / 20 ans, composites : 20 ans)
Besoin urgent de nouveaux produits (ex : en Europe pour faire face aux TGV et alimenter les hubs)	Adaptation lente aux besoins du marché en termes de nouveaux produits
Évolution : d'une somme de marchés	D'une structure de marché composée

protégés vers une forte concurrence (low cost)	de 3 à 4 acteurs vers un duopole
--	----------------------------------

1.2.3 Réduire les coûts en exploitation

Dans le futur, il s'agira moins de construire des avions à bas coûts que de construire des avions qui génèrent moins de coût en exploitation

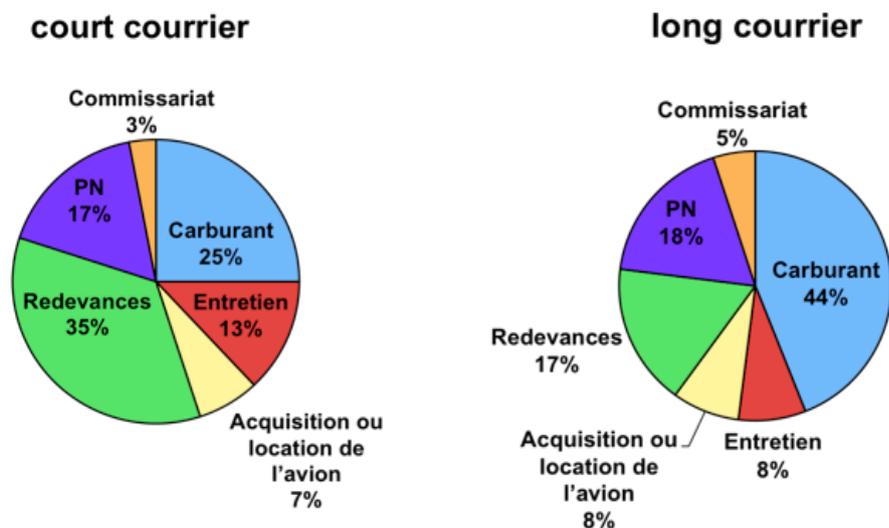
La ventilation du coût d'un avion en exploitation est présentée dans les schémas suivants produits à partir des observations des avions exploités par Air France au cours de l'exercice 2007-08.

Le coût du poste carburant a été calculé à partir de la consommation et de l'hypothèse de prix du pétrole et de change de référence (150 \$ le baril et 1€ pour 1.56 \$).

Le poste redevances correspond aux coûts des touchées, redevances de route, redevances en escales (services d'approche, atterrissage, balisage, stationnement) et redevances liées aux passagers. Les coûts de distribution et les frais généraux de la compagnie, non représentés sur ces schémas, représentent moins de 15% du total des coûts.

Les deux postes carburant et redevances expliquent à eux seuls la différence entre court et long courrier. Pour les moyens courriers, la part du carburant représente 26 %, compte - tenu d'une utilisation proche de celle des courts courriers.

La ventilation du coût par type d'avion
baril à 150 \$ et 1 € = 1.56\$



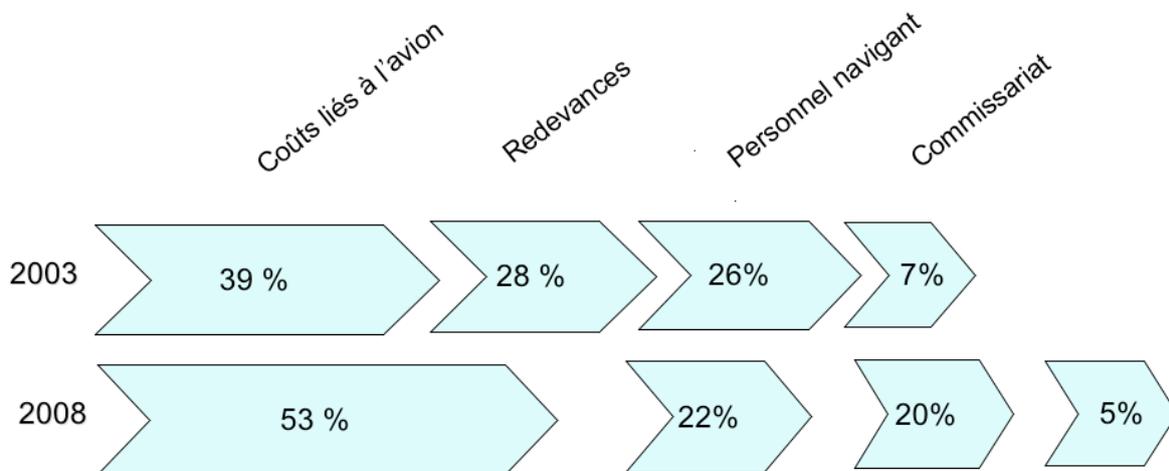
Source : Air France

Ces ratios peuvent être très variables dans la période actuelle à cause de la forte volatilité du prix du baril : pendant l'étude le prix du pétrole a doublé entre octobre 2007 et juillet 2008 avec des variations de 25% en une seule journée. Ces ratios peuvent être également très différents sur les avions cargos où le poste carburant peut atteindre jusqu'à plus de 70% des dépenses.

L'évolution du coût d'exploitation entre 2003 et 2008 est présentée sur les diagrammes suivants. Cette évolution montre que dans le futur il s'agira moins de construire des avions à bas prix que de construire des avions qui génèrent moins de coût en exploitation.

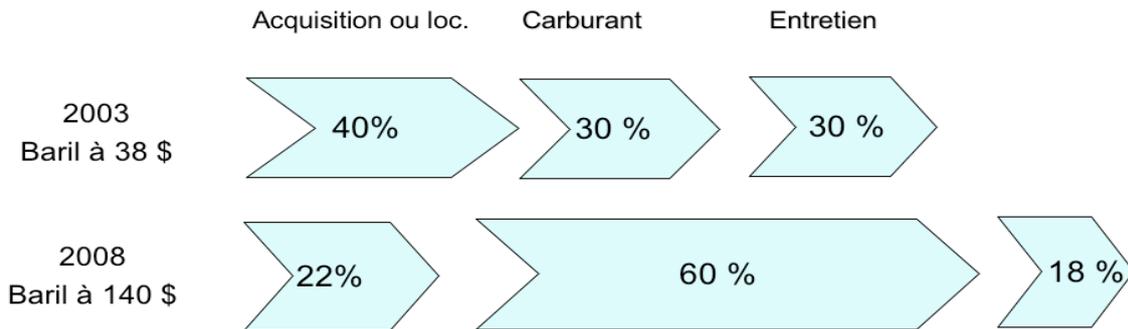
Les coûts d'exploitation d'un avion sur un vol régulier

Moyenne sur gamme d'avions commerciaux et en l'absence de dispositif d'absorption de l'augmentation du prix du baril du pétrole



La ventilation du coût avion sur un vol régulier

Moyenne sur gamme d'avions commerciaux et en l'absence de dispositif d'absorption de l'augmentation du prix du baril du pétrole



Il ne s'agira pas tant de fournir des produits moins chers que de fournir des produits qui coûteront moins chers sur leur cycle de vie

Les coûts liés à l'avion devront être globalement contenus. **L'augmentation du poste carburant devra donc être compensée sur les prochaines générations non seulement par une consommation moindre mais aussi par des coûts de « coque » et d'entretien plus faibles.**

Les facteurs sur lesquels on peut agir pour limiter la consommation sont physiquement déterminés :

- **La masse :**
 - o **1 tonne en moins sur la masse de l'avion représente un gain de 400 kg sur la consommation de kérosène sur un vol long courrier**
 - o le taux d'échange (surcoût accepté par kg gagné sur la structure) varie de 300 € sur le coût d'un avion par kg gagné sur la structure d'un avion régional à 2000 €/kg sur un avion long courrier (référence avril 2008 avec un baril à moins de 100 \$), ces taux d'échange varieront avec le prix du baril
 - o L'optimisation qui dorénavant doit être résolument multidisciplinaire et couvrir plusieurs systèmes
- **L'efficacité aérodynamique :** les codes de calcul, le savoir-faire dans leur utilisation et les moyens de calcul associés, les nouveaux dispositifs aérodynamiques, les nouvelles architectures d'avion
- **L'efficacité des ensembles propulsifs :** codes de calcul, l'augmentation des pressions et températures à l'entrée de la turbine HP⁵, l'optimisation du mélange, l'augmentation des taux de dilution voire les architectures du type open rotor ou contra-rotatif, utilisation de turbopropulseurs
- **L'optimisation multidisciplinaire :** est un sujet technique fondamental, c'est aussi un sujet de nature à modifier la structure des relations au sein de l'industrie. Le responsable de cette optimisation

⁵ Haute pression

prenant de fait des positions plus en amont dans la chaîne de valeur.

Les compagnies aériennes soulignent de leur côté, les difficultés de gérer la maintenance de technologies de générations différentes au sein de leur flotte et de disposer des compétences techniques adaptées au sein de leurs équipes.

1.2.4 Transfert des risques du transport aérien vers l'industrie

Le risque se déplace vers l'amont.

L'industrie aéronautique supporte, comme tout secteur industriel, des risques :

- Incertitude quant à la réussite technique et commerciale des programmes ;
- Incertitude quant à l'évolution de la conjoncture dans le transport aérien ;
- ...

Les références de prix et les facturations se faisant en dollars, l'industrie aéronautique européenne est soumise pour la partie de ses coûts en euros au risque de taux de change défavorable.

Le développement de nouveaux modes de contractualisation expose désormais une partie du secteur (celle des équipements dits compagnies) aux risques qui sont habituellement ceux des compagnies aériennes. En effet, le développement des modes de facturation à l'heure de vol, au nombre de cycles ... conduit à deux effets :

- L'un financier avec un décalage pour l'industriel du retour sur investissement dans le temps ;
- L'autre avec le transfert de risque de la compagnie cliente vers l'industriel en cas de bas de cycle dans le transport aérien.

Les compagnies aériennes peuvent être tentées de généraliser ce procédé dans deux directions :

- Etendre ce type de contrats à des fournisseurs hors équipements dits compagnies ;
- Etendre la nature des transferts de risque :
 - o Les compagnies pourraient par exemple être tentées de faire la promotion d'une approche « garantie de la valeur d'usage » sur la durée de vie des avions. Ce type d'approche peut conduire les avionneurs à supporter les coûts de modernisation des avions ou encore à supporter tout ou partie du risque d'obsolescence⁶ et de dévalorisation de leurs produits. Dans un tel contexte une augmentation du coût du pétrole peut rendre obsolète un avion et conduire son

⁶ Ce risque d'obsolescence est lié à l'apparition d'un nouvel avion ou d'un nouveau moteur plus performants.

fournisseur à en supporter le risque. Il y aurait donc transfert du risque « augmentation du prix du pétrole » de la compagnie vers le fournisseur.

Ces transferts de risques une fois qu'ils ont touché le maître d'œuvre ont tendance à infiltrer l'ensemble des fournisseurs.

2 L'industrie aéronautique – analyse d'ensemble

L'analyse de l'ensemble de l'industrie aéronautique à l'aide de l'outil « chaîne de valeur » permet de mieux mesurer les enjeux et de dégager une panoplie de réponses de la part de l'ensemble du secteur.

2.1 L'outil chaîne de valeur

2.1.1 Méthode

L'outil chaîne est prévu pour s'interroger :

- Sur une création de valeur qui s'inscrive dans les attentes du client et de l'utilisateur ;
- Sur la mobilisation des ressources nécessaires à cette création de valeur ;
- Sur la déstructuration de certaines chaînes à partir des évolutions envisagées.

L'objectif est d'être attentif à tous les paramètres (ressources, facteurs exogènes de changement) pour en déduire ce qui peut affecter les différents acteurs et envisager les réponses de l'industrie.

Cette méthode permet de soulever des problématiques nouvelles et d'évaluer les impacts sur la cartographie des acteurs.

Le benchmark a montré qu'il existe peu d'éléments du type de la valeur dans la littérature :

- l'université de Nottingham a réalisé dans le cadre d'un contrat VIVACE une étude chaîne de la valeur sur les moteurs ;
- le MIT s'est interrogé sur les modèles économiques sous-jacents au transport aérien et à l'industrie aéronautique. (Cf. annexe).

2.1.2 Les spécificités du secteur aéronautique

2.1.2.1 Le rôle de la certification

La certification est intimement liée au développement d'un avion, son coût spécifique représente une part non négligeable (17 %) du coût de développement.

La certification

Part de la certification dans le coût de développement d'un avion



Les principes de cette certification des avions sont les suivants :

- **Le principe général est que la certification est l'affaire du pays d'immatriculation** ⁷:
 - o Un Airbus certifié en France (désormais en Europe par l'EASA) doit aussi être certifié dans chaque pays d'immatriculation : un Airbus acheté par Singapore Airlines est ainsi certifié à Singapour, pays d'immatriculation. Le coût de cette certification pays est supporté par les industriels (l'avionneur et ses équipementiers), ce coût couvre non seulement le coût de la certification mais aussi les mises à niveau éventuelles spécifiques exigées par chaque pays ;
- **La certification minimale admise pour opérer dans le monde est une certification selon les normes OACI** : un avion certifié selon ces normes peut voler et atterrir partout dans le monde mais il ne pourra être immatriculé dans un certain nombre de pays qui ont leurs propres règles de certification (pays européens, Etats-Unis,...) ;

Ces principes expliquent que les avions de certains pays ont été jusqu'à présent non exportables dans les pays occidentaux parce que ne pouvant y être immatriculés (les avions de l'ex-URSS par exemple) et qu'en l'état actuel il semble difficile d'homologuer un avion 100 % chinois.

En général un pays se dote de son propre corpus de certification (règles et services compétents) parce qu'il a une industrie aéronautique mais on peut avoir une industrie aéronautique sans corpus de certification. Les pays qui ont souhaité se développer dans l'industrie aéronautique se sont en général dotés d'un corpus de certification. Le Brésil (organisme militaire) et le Canada (excellent niveau des experts) se sont ainsi dotés de compétences

⁷ Le **transporteur** de son côté doit être titulaire d'un CTA (Certificat de Transporteur Aérien) pour être autorisé à embarquer des passagers dans un pays. Cette certification du transporteur ressort de l'autorité de chaque pays d'embarquement (cf. en Europe la liste noire des compagnies interdites ou faisant l'objet de restrictions).

de certification. Il n'y a donc aucun doute que les pays « nouveaux entrants » sont en mesure d'assimiler les règles occidentales pour accéder au marché mondial⁸.

Sur le plan des règles la référence est constituée par les règles de la FAA. Le corpus européen actuel JAR 25 s'est construit par l'homogénéisation des règles des différents pays concernés (Royaume-Uni, Hollande, Allemagne et France). L'apport France provenait d'une adaptation des règles américaines, les règles EASA et FAA sont donc finalement assez proches.

Outre les règles, les pratiques culturelles de la certification peuvent être très différentes selon les pays ainsi :

- La France disposait d'une autorité ainsi que d'équipes compétentes et indépendantes des industriels ;
- L'Allemagne disposait d'un système souple où la preuve de la conformité était essentiellement à la charge des industriels allemands ;
- Le modèle actuel de l'EASA se rapproche du modèle allemand⁹.

Un pays, a fortiori s'il ne dispose pas d'industrie aéronautique, peut décider de ne pas se doter de règles ou d'expertise spécifique. Il peut dans ce cadre décider de certifier un avion dès lors que celui-ci est certifié par la FAA, l'EASA voire selon les règles OACI...

Un mode de fonctionnement plus souple et moins lourd que ceux préexistants est en train de se mettre en place au sein de l'EASA¹⁰. Il conviendra de suivre dans le temps l'évolution de la reconnaissance internationale de la certification européenne, son positionnement vis-à-vis de la FAA, son comportement à l'égard des pays nouveaux entrants.

La certification peut constituer une barrière à franchir pour un pays nouvel entrant dans la construction aéronautique :

- La certification relève juridiquement de l'autorité nationale. L'existence d'un service de certification dans un pays constructeur a constitué et constitue toujours un élément favorisant l'émergence d'une industrie aéronautique nationale ;
- La certification ou plutôt les certifications conditionnent l'accès aux marchés des pays correspondants ;
- Il est donc nécessaire que les pays nouveaux entrants assimilent les règles occidentales s'ils souhaitent adresser les marchés occidentaux.

⁸ On souligne les stratégies différentes de la Russie (apprentissage de la certification occidentale par la conception d'un avion russe aux normes occidentales avec l'aide d'industriels occidentaux dont Boeing) et la Chine (apprentissage de la certification occidentale via une participation à une chaîne d'assemblage Airbus en Chine et l'implantation d'équipementiers occidentaux).

⁹ Trois raisons à cela : l'une culturelle (le directeur de la certification est allemand), les contraintes budgétaires, l'origine des compétences / le lieu de l'agence (Cologne).

¹⁰ Ce mode repose en partie sur la démonstration de la conformité par l'industriel

La certification intervient dans le cycle : introduction d'une nouvelle technologie, retour d'expérience et adaptation des règles ou de leur interprétation :

- Les règles de certification doivent être interprétées en fonction des nouvelles technologies (cela a dû se faire lorsque Airbus a remplacé les commandes hydrauliques par des commandes de vol électriques et introduit le pilotage via des calculateurs). Il y a donc un lien entre certification et introduction de nouvelles technologies. La question du retour d'expérience permet de rappeler que la certification intervient non seulement à la mise en service d'un nouvel appareil mais qu'elle intervient aussi pendant toute la vie de l'appareil. Le système est donc globalement interactif : nouvelles technologies, retour d'expérience et certification interagissent.

La certification est ce qui conduit l'avionneur et les principaux équipementiers à assumer pleinement leurs responsabilités. Par ailleurs, il y a un lien entre la certification et la localisation des activités les plus stratégiques.

2.1.2.2 Les règles de financement

La question du financement des programmes est stratégique.

Le financement d'une industrie à long cycle comme l'aéronautique pose des problèmes particuliers :

- Les actionnaires veulent des retours à court - moyen terme ;
- Ne sont pas prêts à assumer tous les risques programmes ;
- ...

Les programmes ont toujours été financés directement (Europe) ou indirectement (USA via le militaire) par les Etats.

L'accord bilatéral de 1992 n'engageait que les États-Unis et l'Europe et ne concernait que les avions de plus de 100 places. Cet accord a été dénoncé par la partie américaine.

L'accord n'était de toute façon plus adapté au nouveau contexte mondial de l'industrie aéronautique, en effet :

- Le Japon a financé des développements sur le B787. Des parties de l'A350 seront développées en Chine, en Russie voire en Corée du Sud;
- Bombardier a obtenu pour le développement de son C Séries des financements sous forme de subvention du Royaume-Uni et de l'Irlande ainsi que des financements pour des développements localisés en Chine. Le Brésil, la Chine, le Canada, la Russie et le Japon ont des projets plus ou moins avancés d'avions commerciaux alors que ces pays n'étaient pas couverts par l'accord de 1992. Dans un contexte de mondialisation de l'industrie, il convenait donc de toute façon de

trouver un nouveau cadre juridique et des règles communes pour tous y compris les pays nouveaux entrants. La discussion engagée à l'OMC porte uniquement sur le conflit Airbus/Boeing. Les panels de l'OMC émettront des recommandations qui historiquement n'ont jamais eu valeur de sanctions juridiques (Cf. le cas du conflit Embraer/Bombardier qui finalement s'est conclu à l'amiable, sans que les sociétés ne payent les amendes prévues). Il est donc totalement illusoire d'attendre des panels de l'OMC jugeant le contentieux Airbus/Boeing qu'ils instaurent un nouveau cadre juridique contraignant au niveau international.

Au-delà des aspects juridiques il convient de souligner le contexte de financement de différents pays :

- Des pays relativement riches (Irlande, Canada, Emirats Arabes Unis..) sont demandeurs de technologies et, en échange, prêts à participer à des financements de programmes ;
- A l'inverse, la Chine attire les délocalisations par les compensations que la taille de son marché lui permet d'exiger.
- Le constructeur canadien Bombardier réclame de son côté un financement 1/3 Etat, sous peine de devoir recourir aux délocalisations, le reste étant financé à un tiers par lui-même et l'autre tiers par des partenaires étrangers ;
- Aux Etats-Unis, le transport aérien est considéré comme un enjeu stratégique (par contraste où en France, la priorité est donnée au TGV) et l'industrie aéronautique y est largement financée par les budgets militaires ;

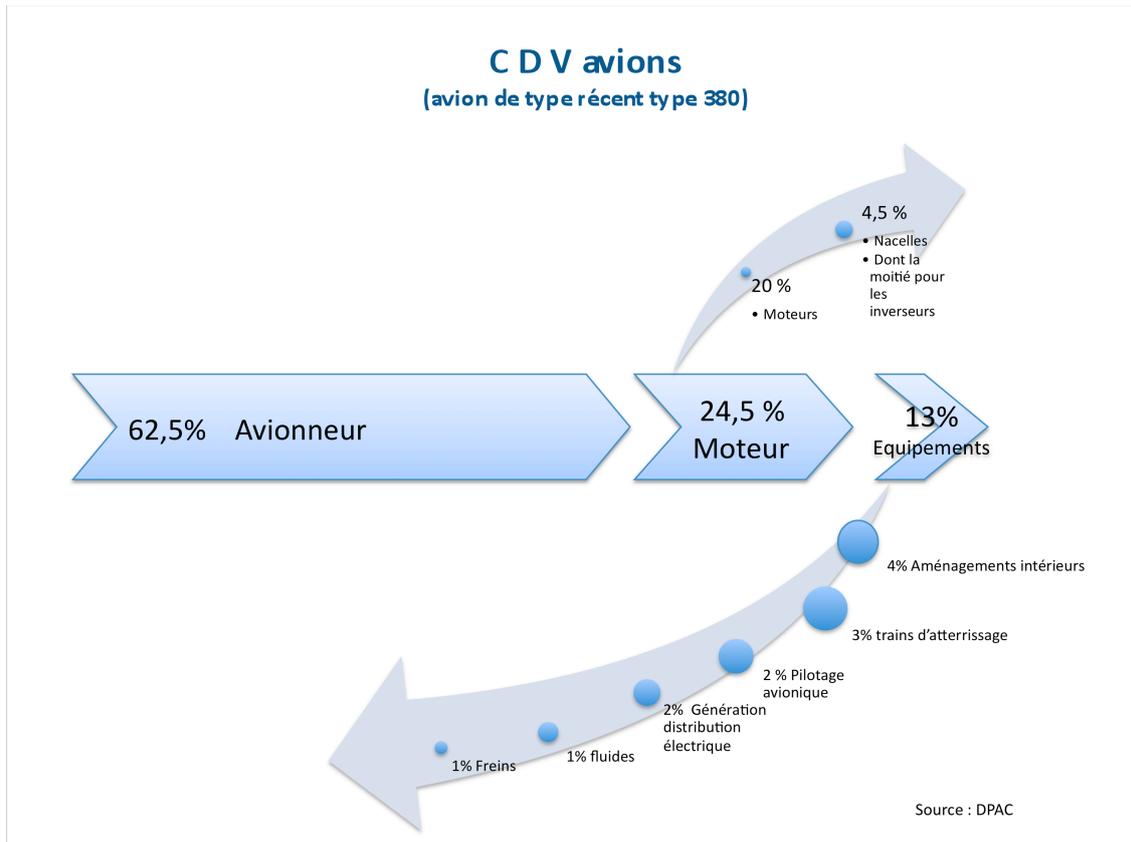
Il convient de souligner également que **les besoins de financement ne concernent pas que les avionneurs mais aussi les équipementiers qui se voient confier des responsabilités de plus en plus importantes** : on passera ainsi de 150 Work Package sur l'A350 à une trentaine sur le NSR¹¹ (futur court courrier).

L'évolution du contexte de financement des programmes est, avec la parité Euro contre Dollar et l'accès aux nouveaux marchés, un des facteurs les plus importants de l'évolution du paysage industriel.

2.1.3 Analyse de la chaîne de valeur générale avion

L'avionneur au titre de son métier d'architecte d'ensemble et de son métier de réalisation de la structure maîtrise en direct 62,5 % de la valeur ajoutée d'un avion.

¹¹ Ce qui ne sera pas sans incidence sur le tissu industriel



Cette planche appelle les commentaires suivants :

- Après les deux postes évidents avionneur et moteur, aucun poste ne représente plus de 5 % du prix d'un avion ;
- Les deux premiers postes après avionneur et moteur sont les postes nacelles et aménagements intérieurs ;
- Deux postes sont à signaler comme générant une activité importante dans la vie de l'avion :
 - o Le poste moteur qui génère des grandes visites tous les 30 000 heures (contre 100 000 heures pour la cellule) voire une nouvelle motorisation dans la vie de l'avion. On peut donc considérer que le volume d'activité total (incluant maintenance et rechanges) sur la vie de l'avion est deux à trois fois plus important selon le cas pour le poste moteur ;
 - o Les aménagements intérieurs qui dans les grandes compagnies sont refaits tous les 4 ou 5 ans soit sur la durée de vie de l'avion un volume d'activité multiplié par trois voire quatre ;
- La valeur est aussi de façon transverse dans l'électronique et l'informatique (hard et soft) qui concentrent de l'ordre de 33 % des coûts de développement (nettement moins en coûts récurrents). Il faut toutefois signaler que les compétences de base correspondantes (aérodynamique, pilotage, domaine de vol, cartographie moteur, lois de

freinage ...) restent maîtrisées par les maîtres d'œuvre industriels de l'aéronautique ;

Ces différents postes génèrent une activité maintenance importante (Cf. 4.3). La répartition d'activité maintenance est très différente, la part cellule et avionneur étant très réduite par rapport à celle figurant ci-dessus.

Importance relative des activités rechanges, modifications, maintenance :

Activité	Rechanges, modifications et maintenance
Architecture	*
Structures	*
Génération de puissance	*
Moteurs	***
Nacelles	*
Trains d'atterrissage	*
Freins	***
Pilotage	*
Divertissement à bord	**
Aménagements intérieurs	***

Source : DECISION

Volume d'activité de « rechanges, modifications et maintenance » par rapport au volume d'activité « neuf » :
 * Faible
 ** Moyen
 *** Equivalent ou plus fort

Les moteurs et les aménagements intérieurs génèrent un volume d'activité (remplacement et maintenance) qui représente entre deux et quatre fois leur prix d'achat. Les moteurs représentent sur la durée de vie de l'avion un volume équivalent à celui de l'avionneur.

2.1.4 Evolution de la segmentation avion à plus long terme

L'arrivée de nouveaux entrants ainsi que l'évolution de la segmentation avions et avionneurs constituent pour le duopole Airbus et Boeing un des défis les plus importants pour le futur.

La segmentation actuelle est sans doute appelée à évoluer sous l'influence des avionneurs régionaux qui percent le marché des avions commerciaux par le bas (avions régionaux / courts courriers) mais aussi sous l'influence des compagnies qui utilisent courts courriers et moyens courriers sur des distances identiques.

2.1.4.1 Les nouveaux entrants

Un troisième avionneur global ou sur un segment de marché ?

Malgré la vive concurrence qui existe entre Airbus et Boeing, la structure de type « duopole » n'est pas la plus efficiente pour les consommateurs. Cette situation de duopole et la forte demande actuelle du marché (rapport offre / demande favorable à l'industrie) se traduit théoriquement par des « surprofits » qui devraient attirer d'autres firmes sur ce marché.

C'est pour cette raison que la création d'Airbus fut décidée à la fin des années 60, il fallait briser le *monopole* américain composé de Boeing, Mc Donnell Douglas et Lockheed. Ainsi, Airbus est né d'une volonté politique de pénétrer un marché ayant une structure imparfaite. Au cours des ans, le marché s'est à nouveau recentré pour donner lieu au duopole actuel.

La volonté politique d'être présent dans le secteur aéronautique existe dans de nombreux pays (Brésil, Canada, Inde, Chine, Japon, Russie..). Les variables principales du scénario nouveaux entrants avionneurs sont :

- Le degré de maîtrise de la technologie et des normes de certification par le pays d'origine du nouvel acteur ;
- La capacité financière à entrer sur le marché de manière pérenne ;
- L'importance du marché national qui peut justifier les transferts de technologies sous forme de compensations et permettre l'apprentissage sur un marché domestique acquis ;

Plusieurs pays sont candidats avec des projets dans les avions courts courriers :

- Le Brésil avec ses compétences acquises par Embraer ou encore le Canada avec Bombardier ;
- La Russie avec son passé aéronautique glorieux dont Sukoï pourrait tirer profit. En effet, le constructeur russe avec son Superjet 100 de 75/95 places a décidé de collaborer avec les meilleurs équipementiers mondiaux et de certifier cet avion aux normes occidentales ;
- Le Japon avec le projet MRJ de Mitsubishi ;
- La Chine a plusieurs atouts : 4^{ème} puissance mondiale, présence d'un important vivier d'ingénieurs, volonté politique de s'engager dans de grands projets industriels et de rattraper l'Occident sur le plan technologique. L'ARJ 21 (Advanced Regional Jet for the 21st century), présenté comme le premier avion commercial

chinois, comporte quelque 40% de composants étrangers provenant de groupes comme General Electric, Honeywell ou Parker Hannifin. L'ARJ-21 ne semble être qu'une première étape et plutôt s'adresser au marché intérieur. Un projet plus ambitieux a été annoncé au début de l'année 2007 avec le feu vert du gouvernement chinois donné au développement d'un avion de grande taille, confirmant l'ambition de ne pas être seulement l'atelier du monde. Ce projet peut marquer le premier pas de la Chine vers la réalisation de ses ambitions, qui comprennent la construction d'un avion de plus de 150 places, susceptible de concurrencer les constructeurs Airbus et Boeing sur le marché mondial.

L'arrivée de nouveaux avionneurs transformerait la structure de marché et mettrait fin au duopole actuel. Le pouvoir de négociation des acheteurs d'avions (compagnies aériennes ou sociétés de leasing) augmenterait (en faisant l'hypothèse que ce troisième se positionne sur les mêmes segments et les mêmes marchés géographiques que ses concurrents). Dans ce scénario, les marges des deux avionneurs se trouveront réduites d'autant plus que les nouveaux entrants proviennent de pays à bas coûts.

Il convient néanmoins que ces nouveaux entrants aient la capacité à offrir des produits certifiés et avec au moins la même économie d'exploitation que ceux de leurs concurrents.

A produits identiques, ce troisième acteur devrait réduire les marges et les parts de marché des avionneurs en place.

Cette perte de part de marché pourrait se traduire en l'absence d'adaptation des deux acteurs du duopole actuels par des situations de surcapacité donc à terme par des surcoûts (entretien d'usine, frais personnel non affectés ...) et un ajustement de l'outil industriel aux nouvelles conditions de marché (licenciements...).

Pour les équipementiers les scénarios peuvent être différents :

- Un nouvel avionneur émerge en faisant appel à la base mondiale des équipementiers actuels. Ce scénario vers lequel s'acheminent Sukhoi, Embraer et Bombardier est le plus favorable pour les équipementiers puisque pour eux la part de marché resterait la même avec un nombre de programmes toutefois en augmentation ;
- Le nouvel acteur émerge d'un pays ayant les capacités techniques suffisantes pour se permettre de se passer de la compétence d'équipementiers étrangers. La création d'une industrie chinoise autonome et maîtrisant la fabrication complète d'un avion aux normes occidentales serait le pire scénario pour les équipementiers occidentaux puisque cela contracterait leur part de marché et annoncerait l'arrivée de

nouveaux concurrents.

Un des éléments déterminant réside donc dans la volonté et la capacité du pays concerné à faire émerger en propre une industrie capable de produire un avion certifié aux normes occidentales, compétitif en exploitation, reconnu fiable, sûr et apte à affronter le marché mondial.

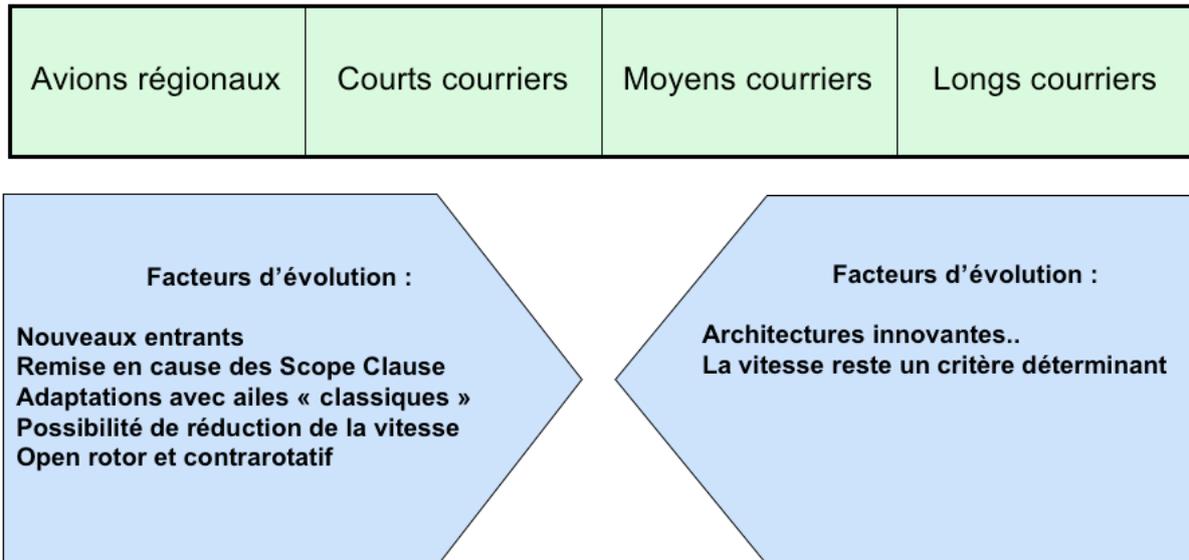
Pour certains la taille du marché ne justifierait pas la présence d'un troisième avionneur sur la totalité de la gamme.

2.1.4.2 Des nouveaux critères de segmentation

La segmentation par distance franchissable (AR, CC, MC et LC) n'est plus vraiment pertinente. Les avions des trois premiers segments actuels (régional, court et moyen courriers) seront utilisés à 95% sur des étapes de 500 à 1500 NM ce qui tend du point de vue de l'exploitation à faire disparaître les frontières correspondantes de la segmentation actuelle des avions.

CDV avion

Quelle évolution de la segmentation à long terme ?



Les nouveaux entrants (Brésil, Canada, Russie, Chine) attaquent la capacité 90-140 sièges à partir de leurs compétences initiales dans les avions régionaux. D'un autre côté, courts courriers et moyens courriers restent de la même famille, les moyens courriers couvrant dans le futur une capacité pouvant aller jusqu'à 240 passagers. Du point de vue de l'offre il y a donc

également une certaine convergence de ces trois segments¹².

Les longs courriers sont quant à eux résolument orientés vers l'augmentation de capacité et de rayon d'action.

La segmentation future pourrait entraîner une spécialisation des acteurs par la technologie, en particulier par l'architecture (par exemple classique ou aile volante), moteurs (open rotor ou non), les matériaux, l'avionique, la technologie électrique. Ainsi les longs courriers pourraient être plus « noirs » (largement plus de 55 % de carbone) en raison de l'effet multiplicateur plus important de la masse sur la consommation.

L'intérêt de la configuration Open Rotor qui concerne plutôt les courts courriers et qui génère une vitesse de croisière plus faible reste à prouver : si cette configuration permet des économies d'énergie, elle peut soulever un problème commercial. En effet, le temps de vol reste un critère important pour les vols en correspondance qui représentent 60% des voyages. La vitesse pourrait donc rester prépondérante sur tous les segments.

La motorisation des moyens courriers devrait évoluer quant à elle sans rupture (les feuilles de routes existantes permettent de se projeter à 15 ans). Pour les plus longs courriers, les nouveaux moteurs sont attendus vers 2017/2018.

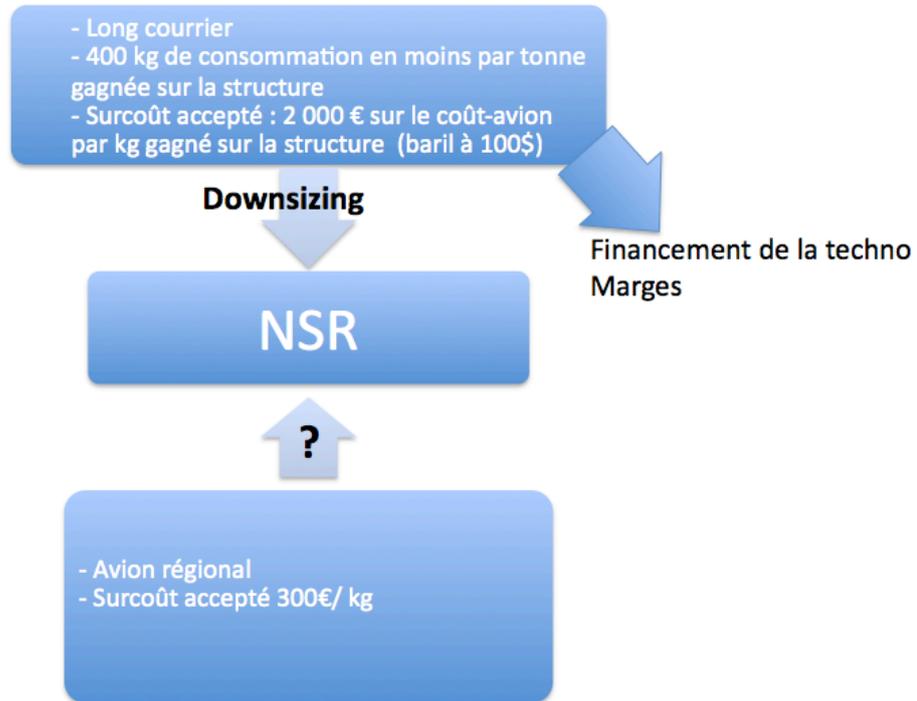
L'évolution pourrait donc conduire à :

- un segment avions régionaux, courts courriers et moyens courriers avec des solutions à ailes classiques et des architectures moteurs innovantes (open rotor, turbopropulseur, moteurs à l'arrière) ;
- un segment long courrier avec des architectures innovantes du type ailes volantes ou ailes rhomboédriques (segment d'innovation et d'introduction des technologies).

Cette segmentation des produits peut recouvrir une segmentation des industriels avec des coopérations sur le premier segment et certainement pas plus de deux industriels sur le deuxième segment.

¹² Même si certaines caractéristiques (diamètre de carlingue, capacité ETOPs, distance d'atterrissage) en font encore actuellement des produits différents, le mouvement de convergence semble bien enclenché, ce qui ne sera pas sans incidence sur le tissu industriel.

La compétitivité de l'avionneur



2.2 Panoplie de réponses

Chaque scénario suggère des réponses de nature différentes :

- Des réponses techniques qui peuvent s'échelonner dans le temps compte tenu de la durée de développement des nouvelles technologies ;
- Des réponses en matière d'organisation de l'ensemble du transport aérien qui mettent en jeu tout un système d'acteurs internationaux ;
- Des réponses en termes de « produits » qui suivent les grandes évolutions de l'offre et de la demande ;

2.2.1 Les réponses techniques

Les évolutions techniques en cours concernent principalement trois domaines

- L'extension du domaine électrique dans les différentes parties de l'avion ;
- L'évolution des moteurs ;
- L'emploi de matériaux composites.

2.2.1.1 La génération de puissance

Une reconversion nécessaire pour certains équipementiers.

Le développement de l'avion plus électrique se fait au détriment d'un tissu industriel qui travaille dans la mécanique et l'hydraulique et qui va voir son activité se réduire au fur et à mesure que les fonctions seront assurées par des systèmes électriques.

On soulignera que la filiale Hispano-Suiza du groupe Safran avait initialisé ce changement de métier dès le début des années 2000. Essentiellement de culture mécanique à l'origine (conception et fabrication des boîtiers de transmission), cette société a développé des compétences dans les systèmes électriques et électroniques (régulation moteur, commandes d'inverseur, pompe à carburant, déshuileur).

La liste des industriels impliqués dans le programme de banc d'essai ASVR dans le cadre du programme européen POA (Power Optimised Aircraft) donne une indication, non exhaustive, des industriels qui se positionnent sur le segment de la génération électrique, de la distribution et de certains systèmes utilisateurs :

- Hispano-Suiza : maîtrise d'œuvre, pompe à carburant, déshuileur
- Labinal : câblage avion
- Technofan : ventilateur de re-circulation d'air
- Université de Kassel : charges programmables
- SABCA : commandes de vol
- Liebherr : commandes de vol et ventilateur de climatisation
- Goodrich : commandes de vol et générateur
- Thales AES : Starter Générateur 350 VDC
- ECE-Intertechnique : cœur électrique
- FCS : système de contrôle/commande du banc
- SENER : planification et analyse des risques..

Un équipementier qui ne prend pas aujourd'hui le virage du plus électrique risque de voir son activité se réduire à moyen terme. C'est tout le paysage industriel correspondant qui se modifie.

Le système génération et distribution électrique devient un système complexe. **L'avionneur ne peut se désintéresser de ce système critique sur le plan de la sécurité.** Il réalise également les devis de puissance des différentes configurations qui dimensionnent le système de génération et de distribution et rend les arbitrages correspondants (puissance, masse, thermique).

Dans ce contexte le positionnement des différents acteurs sur cette nouvelle chaîne de valeur mérite une attention particulière :

- **Les changements technologiques font-ils le jeu d'industriels extérieurs à l'aéronautique ;**

- **Ou les acteurs de l'aéronautique se les accaparent ;**
- **Finally la spécificité aéronautique et la connaissance du système concerné prévaut-elle sur la possession d'une technologie ?**

2.2.1.2 Les moteurs

L'évolution technologique dans le domaine des moteurs fait l'objet de feuilles de route technologiques qui sont connues (matériaux, parties chaudes et fans notamment). Il reste néanmoins des incertitudes sur :

- Les perspectives d'introduction de ces nouvelles technologies avec le bon panachage au bon moment (il s'agit d'optimiser à la fois la consommation et les coûts d'entretien) ;
- Le potentiel opérationnel des nouvelles architectures comme les moteurs GTF de Pratt & Whitney ou encore les hélices contra-rotatives ou autre open rotor par rapport au turbo fans que nous connaissons actuellement.

Par ailleurs la disponibilité de moteurs est souvent considérée comme celle qui donne le tempo des nouveaux programmes d'avions. Ce sera sans doute le cas sur les avions courts courriers avec des stratégies sensiblement différentes de la part des différents couples motoriste(s) - avionneur.

Le système actuel sous contrôle de trois ou quatre grands motoristes et surtout des deux consortiums (CFM et IAE) va-t-il résister au positionnement en cours sur les différents programmes d'avions courts courriers ? De nouveaux entrants peuvent-ils venir perturber ce schéma ou encore un des consortiums peut-il exploser ?

L'open rotor

Cette solution permettrait des gains de consommation mais au prix d'une réduction de la vitesse et pose encore des problèmes de sécurité de vibration et de bruit. Cette technologie pourrait concerner près de 70% de la demande en avions neufs et modifierait profondément le métier des fabricants de nacelles.

L'un des moyens d'augmenter la poussée des moteurs est d'augmenter le taux de dilution c'est à dire le diamètre de la soufflante. **Cette évolution conduit à partir d'un certain taux de dilution à supprimer le carénage de la soufflante.** En clair on obtient un turbo-propulseur, un turbo fan contrarotatif ou encore ce que l'on appelle aujourd'hui un open rotor.

Ce type de configuration conduit à une perte de vitesse de l'ordre de 15% ce qui sur des vols relativement courts peut ne pas constituer pas un handicap. **L'avantage réside dans la perspective de gains en consommation des moteurs.** Le problème essentiel qui est posé par ce type d'architecture propulsive réside dans les vibrations et le bruit rayonnés par les hélices. Les problèmes liés à la sécurité en cas rupture des éléments de

l'hélice.

Appliqué à la chaîne de valeur nacelles l'utilisation de l'open rotor peut conduire aux conséquences suivantes :

- **Le fabricant de nacelle perd une bonne partie de sa valeur ajoutée** : en effet dans cette configuration la nacelle s'apparentera au carénage d'un turbopropulseur et perdra au moins une de ses fonctions, la contribution au freinage via les inverseurs de poussée (soit 50 % de la valeur). Par ailleurs le problème de l'atténuation du bruit se trouvera largement reporté sur l'architecture avion – moteur – hélice ;
- **L'avionneur peut ainsi être amené à se pencher sur des problèmes qu'il avait dans la filiation antérieure délégués aux fabricants de nacelles.**

Le risque pour le fabricant de nacelles sur le long terme est celui d'une perte de sa valeur ajoutée, d'autant plus que ce type d'évolution est évoqué pour les avions courts courriers qui constituent l'essentiel du marché en nombre de nacelles et inverseurs.

Les fabricants de nacelles, spécialisation relativement récente, pourraient donc devoir se reconverter. La reconversion qui paraît la plus évidente réside dans les structures aéronautiques où des industriels comme Aircelle et Goodrich pourraient être amenés à se développer de façon plus significative qu'ils ne le sont actuellement.

On notera qu'Aircelle a d'ores et déjà diversifié ses compétences dans les composites notamment ceux dits tièdes (éléments proches ou parties intégrantes du moteur comme les carters, les cônes d'éjection ou encore les tuyères dans le militaire) et dans la réalisation de pièces complexes comme les fans en composites.

Aircelle, qui fait partie d'un groupe de motoristes, pourrait également se développer dans la réalisation d'hélices voire en liaison avec Hispano-Suiza dans des ensembles hélices – réducteur – inverseur tels que pouvant être réclamés par certaines architectures open-rotor.

On voit donc que la CDV nacelles¹³ qui actuellement donne un rôle important à l'industriel responsable de la nacelle pourrait considérablement évoluer. **Les fonctions traitées dans cette CDV (atténuation du bruit, inverseurs) feront appel dans le futur à de nouveaux intervenants (avionneur, motoriste, spécialiste des réducteurs). L'industriel des nacelles passerait donc, dans le scénario open rotor, du statut de concepteur de système à celui de coopérant voire sous-traitant.**

Il convient de conserver présent à l'esprit que le créneau des avions de moins de 300 places potentiellement concerné par ce scénario

¹³ La nacelle est en valeur le troisième équipement d'un avion.

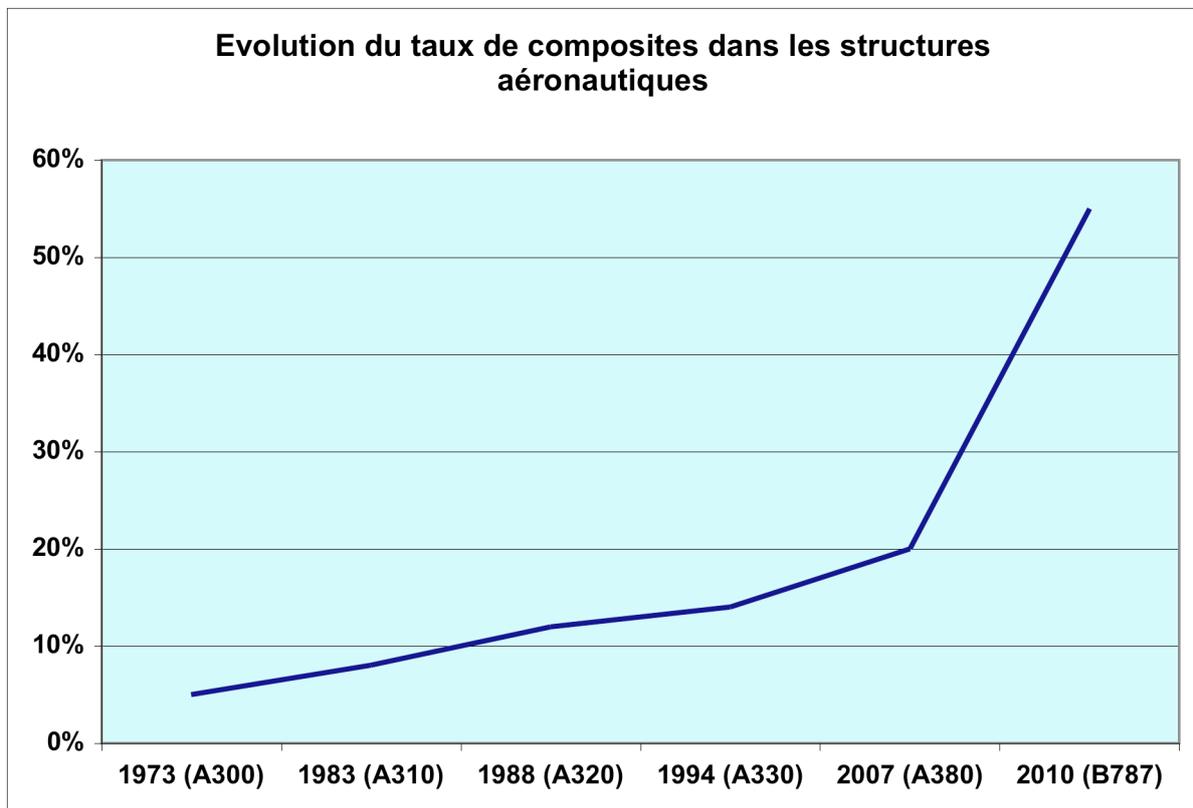
représente plus de 70% de la demande mondiale en avions neufs.

2.2.1.3 Les matériaux

L'utilisation croissante des matériaux composites implique l'existence d'un tissu industriel capable de maîtriser le dimensionnement de structures aéronautiques en carbone.

Dans la compétition entre Airbus et Boeing, la performance des structures joue actuellement un rôle important. Le taux de recours aux matériaux composites sur un programme est présenté comme le signe de l'avance ou du retard que l'un a pris sur l'autre.

Le graphique ci-dessous montre que l'introduction des composites sur les programmes d'avions de plus de 100 places si elle n'est pas récente s'est fortement accélérée dans les années 2000.



Les matériaux composites pour structures aéronautiques sont composés :

- D'une matrice en résine ;
- D'une structure de renforts essentiellement en fibres de carbone¹⁴ ;
- Eventuellement d'additifs pour renforcer la cohérence de l'ensemble ou en améliorer l'aspect ou/et les caractéristiques.

¹⁴ Il existe différents types de fibres carbone. L'industrie aéronautique utilise essentiellement des fibres de la filière PAN (polyacrylonitrile) disposant d'un nombre de filaments élevés (de l'ordre de 6 000) et à module d'élasticité élevé.

Les matériaux de base mis en œuvre par les constructeurs de structures aéronautiques sont le plus souvent des pré-imprégnés, produits semi-finis dans lesquels les trois composantes évoquées ci-dessus sont déjà pré-assemblées. Les acteurs de ce pré-assemblage sont en France des industriels comme Hexcel ou encore Structil, filiale du groupe SNPE.

L'offre en fibre de carbone à hautes caractéristiques est essentiellement sous contrôle de capitaux américains et japonais. Ces industriels disposent de quelques usines de fabrication en Europe¹⁵ notamment en France (Soficar du groupe japonais Toray) et en Allemagne (Toho Tenax Europe du groupe japonais Toho).

La question de la sécurisation de l'approvisionnement des matières premières est souvent évoquée compte tenu de la relative dépendance européenne évoquée ci-dessus. Les ordres de grandeur d'investissement pour créer une filière propre seraient de :

- 10 années de recherche ;
- Effort de recherche auquel il convient d'ajouter l'investissement industriel pour la production (quelques centaines de millions d'euros).

Cependant dans un contexte de programme aéronautique où l'optimisation est la clé du succès, il convient de faire remarquer que **le savoir-faire spécifique réside surtout dans le dimensionnement des structures.**

L'intérêt des composites réside dans le gain de masse qu'ils autorisent sur certaines structures aéronautiques. Un autre aspect des composites qui nous intéresse dans le cadre de ce scénario relatif à la CDV structures aéronautiques est que **sur le plan industriel ils autorisent une fabrication plus automatisée (nappage par automate).**

Il est probable que plusieurs types de matériaux continuent à co-exister dans les structures aéronautiques. Les composites ne sont pas adaptés à tous les types de sollicitation. Par ailleurs les alliages d'aluminium ont encore un potentiel d'évolution (laminé fibre-métal, nouveaux alliages aluminium lithium). Deux filières matériaux devraient donc co-exister : d'un côté l'outil industriel que nous connaissons destiné à la réalisation des structures aluminium et d'un autre côté un outil industriel spécifique à la réalisation de structures en composites.

On ne saurait dire si cette co-existence va s'établir aux alentours des taux actuels de 50% ou évoluer vers un partage 80 / 20. Cela peut résulter de critères techniques (le matériau le plus adapté aux contraintes de chaque pièce)¹⁶ mais aussi de choix économiques (potentiel d'automatisation dans les composites, coût de maintien de deux technologies) ainsi que d'autres critères non encore évalués dans le cas des composites (retour d'expérience, traitement en fin de cycle).

¹⁵ On se référera au numéro 2118 d'Air & Cosmos du 28 mars 2008 qui fait le point sur les capacités de production mondiale et leur évolution.

¹⁶ Voir à ce propos « Compétition métalliques-composites dans les structures aéronautiques » dans compte-rendu des « Entretiens de Toulouse » d'avril 2008.

L'outil industriel pourrait donc se spécialiser avec :

- La survivance de compétences dans les alliages d'aluminium sur des particularités structurelles (contraintes mécaniques spécifiques) non automatisables. Ce tissu industriel pourrait s'orienter vers une activité de main d'œuvre qualifiée (chaudronniers aéronautiques) et un outil industriel « de type artisanal » dans le bon sens du terme ;
- Le développement d'un outil industriel dans la réalisation de pièces en composites dont la réalisation ne peut être automatisée. La main d'œuvre dans la fabrication de ce type de pièces est peu qualifiée, le savoir-faire étant dans l'industrialisation et les gammes de fabrication ;
- Le développement d'un outil industriel spécialisé dans les pièces en composites dont l'automatisation de la fabrication est envisageable. Ce type d'activité nécessite de forts investissements et utilise peu de main d'œuvre (la qualification s'oriente vers la conduite, le réglage et l'entretien des machines).

Les problématiques de localisation de ces différents types d'activité peuvent être sensiblement différentes.

2.2.1.4 Les nouvelles architectures

L'aile volante

Une solution techniquement séduisante et qui suppose la création de nouveaux outils de conception et de simulation.

Sur un plan strictement opérationnel, on attend de ce type d'architecture une plus grande capacité (900 personnes sur deux ponts) pour un rayon d'action plus important et pour une envergure de l'ordre de 95 mètres qui reste dans l'ordre de grandeur de celle d'un A380¹⁷.

Différents projets prospectifs (horizon 2030) d'ailes volantes existent (X48B chez Boeing¹⁸, SAX 40 du MIT et de l'Université de Cambridge, le AC20.30 de l'Université des Sciences Appliquées de Hambourg ...). **L'intérêt de ce type d'architecture est d'augmenter la portance sans augmenter l'allongement des ailes, d'optimiser la répartition des masses ce qui doit se traduire par une structure plus légère.** Dans ce type de configuration la suppression de l'empennage arrière contribue également à la réduction de la traînée.

L'acceptabilité par une clientèle commerciale de rangées de 20 sièges reste une incertitude¹⁹. L'aile volante serait plutôt destinée au fret. Même

¹⁷ L'A380 a un rayon d'action de 15 000 km, peut emporter jusqu'à 853 personnes, son envergure est proche de 80 mètres.

¹⁸ Ce projet, le seul industriel, bénéficie de financements militaires.

¹⁹ En raison de l'éloignement entre hublots et sièges centraux. A l'inverse ces appareils constitueraient d'excellents transports de troupes.

s'il n'y a pas réellement de raison pour qu'une aile volante fasse moins de bruit qu'une configuration classique, l'avantage est simplement de permettre une limitation du nombre de mouvements aéroportuaires par une capacité unitaire plus importante²⁰. Il y a donc moins de bruit parce qu'il y a moins de mouvements.

Les difficultés concernent en premier lieu l'architecte maître d'œuvre industriel dans ses fonctions de définition fonctionnelle et de définition technique du projet notamment sur les aspects aérodynamiques, structures, pilotage, intégration des moteurs.

Les difficultés techniques à résoudre sont les suivantes :

- L'instabilité aérodynamique de ce type d'architecture nécessite une grande fiabilité du pilotage, de ses algorithmes et des matériels qui les supportent ;
- La tenue à la pressurisation compte tenu de formes qui ne sont pas optimisées dans ce but ;
- L'intégration de l'installation motrice ;

Ce type d'architecture novatrice ne permet pas d'utiliser les filiations techniques connues et nécessite un nouvel investissement dans les outils de conception et de simulation.

La question se pose également de savoir comment les structures correspondantes pourront être sous-traitées par l'avionneur²¹.

Il est à souligner que ce type de solution aile volante s'écarte des solutions généralement retenues pour les petites et moyennes capacités qui sont plus conservatrices (c'est à dire conservant un fuselage, ailes et un empennage).

Globalement un tel projet ne permet plus à l'architecte maître d'œuvre industriel de travailler par filiation et nécessite un investissement technique et industriel important. Il peut également nécessiter que l'architecte maître d'œuvre industriel reprenne en mains des parties qu'il avait finies par déléguer à ses fournisseurs.

La question d'une différenciation des outils industriels pour les avions de grande capacité type aile volante, d'une part, et pour les avions de petite et moyenne capacité type fuselage-ailes, d'autre part, peut également se poser. La segmentation actuelle avions régionaux / avions de plus de 100 places pourrait alors migrer vers une segmentation moins de 300 places / plus de 300 places²².

²⁰ Pour les mêmes raisons l'aile volante répond à un objectif de décongestionnement de l'espace aérien.

²¹ De façon instinctive on pressent que le saucissonnage d'une aile volante en blocs à sous-traiter sans être impossible devra être réinventé.

²² Dans les configurations classiques à fuselage et ailes distinctes il est admis que le gain lié à la capacité plafonne au-delà d'une capacité de 300 passagers.

Les ailes rhomboédriques

Cette solution permet d'augmenter la capacité de l'avion sans allonger les ailes qui sont doublées (Cf. page de couverture).

Une telle architecture (carlingue et ailes) est compatible des outils industriels existants.

2.2.2 Un exemple de réponse organisationnelle : la future gestion du trafic aérien

L'objectif est remplacer la gestion de l'espace aérien par la gestion de la trajectoire des avions en instaurant une transmission permanente et automatisée d'informations numérisées. Ce nouveau système implique la mise en place de nouveaux équipements et offre donc des opportunités nouvelles aux équipementiers.

La congestion croissante des aéroports et l'augmentation du nombre d'avions en vol ont amené les acteurs à repenser la relation entre l'avion et sa gestion de vol.

La construction de nouvelles pistes est quasiment impossible pour de nombreux aéroports car l'espace est souvent déjà utilisé à son maximum (Londres Heathrow par exemple). Dans de nombreux cas, la construction de nouvelles pistes se heurte à l'opposition des riverains.

Environ 70% des avions mis en service d'ici 2026 seront des mono-couloirs²³. Ces avions mono couloirs sont souvent utilisés pour des correspondances et leur manque de ponctualité peut générer pour les compagnies des problèmes en cascade. Il faudra donc être capable d'augmenter la densité du trafic, la fréquence des décollages et des atterrissages tout en conservant le même niveau de sécurité.

L'augmentation de cette capacité est une condition du développement du transport aérien et donc de l'industrie aéronautique. Airbus et Boeing se sont donc impliqués dans les programmes correspondants. Par ailleurs, ils ne pouvaient sur un plan stratégique et voire technologique ne pas s'impliquer dans des programmes qui sont au cœur de la relation future entre l'avion et la gestion du trafic.

Le projet européen SESAR (Single European Sky ATM Research) vient d'entrer en développement, la phase de déploiement devant s'étaler de 2014 à 2020. Aux Etats-Unis, un programme similaire Next Gen est mené sous l'égide de la FAA. Ces deux programmes sont coordonnés et cohérents.

Au delà de la réponse à l'augmentation de la densité de trafic, l'objectif

²³ Source : Airbus Global Market 2007/2025

de ces projets est aussi de réduire les coûts pour les compagnies (coût des redevances et sur-consommation liée à la non optimisation des vols).

Les moyens envisagés pour répondre à ces objectifs sont les suivants :

- Meilleure connaissance en temps réel de la position et des intentions des avions ;
- Partage continu des informations entre le contrôle aérien et la planification des vols des compagnies ;
- Meilleure gestion du trafic au décollage et à l'atterrissage ;
- Rapidité d'adaptation aux changements météo ;
- Système intégré de gestion stratégique et tactique des flux. ;

Ceci suppose plusieurs modifications tant au niveau des avions eux-mêmes que des installations au sol. Au niveau des avions une meilleure précision de navigation et un contact permanent avec les centres de contrôle sont requis.

Aujourd'hui, les communications entre l'avion et le sol sont essentiellement verbales. **L'objectif est de s'acheminer vers des transmissions d'informations numériques automatisées ainsi que des demandes automatisées de modification de plan de vol.**

Ce passage de la gestion de l'espace à la gestion de la trajectoire des avions se traduira par la mise en place d'un système où **l'avion transmettra en permanence par relais satellite les informations suivantes : identification, position, vitesse, cap, intentions. Ces informations seraient accessibles à tous les autres avions dans l'espace concerné.**

Un tel système prendrait en compte les informations météorologiques en particulier aux abords des aéroports. En cas d'orage, il sera par exemple plus économique de dérouter un avion lorsque celui-ci se trouve à son altitude de croisière que de le détourner alors qu'il est déjà en phase d'approche.

Les conséquences de cette nouvelle approche sont très importantes pour le transport aérien et pour l'industrie.

Les conséquences pour l'industrie seraient les suivantes :

- La fonction ATM va évoluer radicalement, outre le fait que le radar ne sera plus l'instrument privilégié qu'il est actuellement, **les systèmes ATM vont prendre en compte des données nouvelles relatives à la capacité d'évolution de l'avion** (éventuellement sa consommation) et à une vision plus globale et plus prédictive de l'espace aérien. La capacité et la nature des systèmes d'information au sol vont donc radicalement changer ce qui n'est pas sans incidence pour des industriels comme THALES (opportunité pour de nouveaux entrants) ;
- **L'ajout à bord des avions, de nouveaux appareils électroniques** (réception/transmission de données, antennes

satellites...) **peut accroître les perspectives des équipementiers de l'électronique.** Les avionneurs eux-mêmes ne peuvent ignorer ces nouveaux systèmes répartis entre le sol et le bord, qui auront des interfaces avec le pilotage de l'avion et qu'il faudra certifier.

2.2.3 Les réponses en terme de « produits »

2.2.3.1 Les « avions low costs »

La construction d'un avion « low cost » est envisageable, mais son développement est tributaire de sa fiabilité et de son coût en exploitation.

L'idée est d'extrapoler ce qui est fait dans l'automobile par l'industriel indien Tata pour l'appliquer à l'aéronautique et en évaluer les conséquences éventuelles. **Un avion low cost sera entendu dans cette hypothèse comme un avion conçu et fabriqué à un faible coût.**

Le présent scénario d'avion low cost repose ainsi sur trois axes :

- Anticiper ex ante une production à coûts réduits c'est-à-dire concevoir dès la phase amont un avion dont la production, l'assemblage, les technologies sont déjà connus de l'industrie aéronautique et dont les effets d'apprentissage s'y sont répandus. **En clair, il s'agit d'un avion peu ou pas innovant ;**
- Réaliser le travail de conception et de développement même à moindre frais (dans un pays ayant un avantage compétitif dû à une main d'œuvre relativement bon marché) ;
- Concevoir un avion ayant des caractéristiques simples en terme de performances (vitesse de croisière inférieure aux moyennes actuelles...)

L'hypothèse d'un tel aéronef conçu en Chine, Inde voire Russie est plausible dans le sens où ces pays disposent d'un vivier d'ingénieurs dont le salaire est moindre que le salaire d'un ingénieur européen, canadien voire brésilien. Mais **l'élément essentiel est de disposer d'un vaste marché intérieur captif permettant, avec la volonté politique et stratégique, de justifier l'expérience.**

L'avion chinois même spécifique au seul marché chinois prendra de toute façon la part de marché que pouvait viser le duopole Airbus / Boeing.

La question de savoir si un tel avion est capable d'être certifié et compétitif sur le marché mondial est plus complexe :

- **Rappelons qu'avec un baril à 150 \$ le coût d'acquisition d'un avion représente 22 % des coûts générés par l'avion** (coût d'acquisition de l'avion + entretien + consommation) cf graphique page 22. Il ne s'agit donc pas tant de construire un avion à bas coût que de produire un avion qui coûte peu en exploitation ;

- Les équipementiers occidentaux ou des ingénieurs occidentaux peuvent aider ces nouveaux entrants à assimiler les normes occidentales ;
- La crédibilité d'un avionneur se construit sur le long terme ;

Mais le scénario ne peut être totalement écarté à moyen terme (les constructeurs d'ordinateurs portables ont bien fini par prendre une bonne partie du marché d'IBM et autres Bull).

L'intérêt de ce scénario réside dans sa capacité à faire évoluer la perception de l'avion en tant que produit très technologique à fortes marges et à en anticiper les risques.

2.2.3.2 Les avions longs courriers

L'avion long courrier utilise des technologies plus avancées qui peuvent se diffuser progressivement aux autres avions.

La mondialisation de l'économie conduit à multiplier les voyages au long cours. Ces voyages ne sont pas sans poser des problèmes au regard de la capacité du voyageur à supporter physiquement et psychologiquement les vols de longue durée. Du point de vue du traitement des passagers les avions longs courriers représentent donc le haut de gamme. L'espace disponible, les aménagements intérieurs, les possibilités de distraction répondent à des spécifications plus sévères.

Sur le plan technique, faire un avion long courrier reste plus compliqué (schéma page 39).

Les avions longs courriers sont donc considérés comme ceux qui tirent la technique.

L'avion est aujourd'hui incontournable sur les longues distances, en revanche, il peut être concurrencé sur des courtes voire moyennes distances. En Europe occidentale notamment les vols courts courriers sont désormais concurrencés par les liaisons ferroviaires à grande vitesse. Ainsi Air France étudie la possibilité de trains TGV à ses couleurs pour drainer les voyageurs vers ses nœuds de réseau européen. La masse des diverses redevances²⁴ qui pèse particulièrement sur l'exploitation d'un vol court courrier peut également contribuer à ce choix.

Les problématiques inhérentes au développement des longs courriers peuvent être les suivantes :

- Vont-ils contribuer à une segmentation technique des avionneurs, le duopole Airbus / Boeing se contentant des avions haut de gamme longs courriers et laissant les courts courriers aux nouveaux

²⁴ Soit en moyenne sur les vols court courriers d'Air France de l'ordre de 35 % du coût d'exploitation.

entrants ?

- A l'inverse les acquis technologiques issus des avions haut de gamme vont-ils permettre au duopole de maintenir une avance technologique sur les courts courriers dès lors qu'elle s'exprimera en gain sur les coûts d'exploitation ?
- Y-a-t-il des perspectives pour des avions commerciaux supersoniques ?

3 L'industrie aéronautique – analyse détaillée des CDV

Dix CDV représentatives de l'industrie aéronautique française ont été sélectionnées. Le choix s'est opéré :

- D'après la connaissance du secteur par DECISION ;
- A la suite des entretiens individuels avec les membres du Comité de Pilotage ;
- A la suite des entretiens avec de grands acteurs de l'aéronautique ;
- A la suite du premier comité de pilotage.

La liste retient ainsi les secteurs suivants :

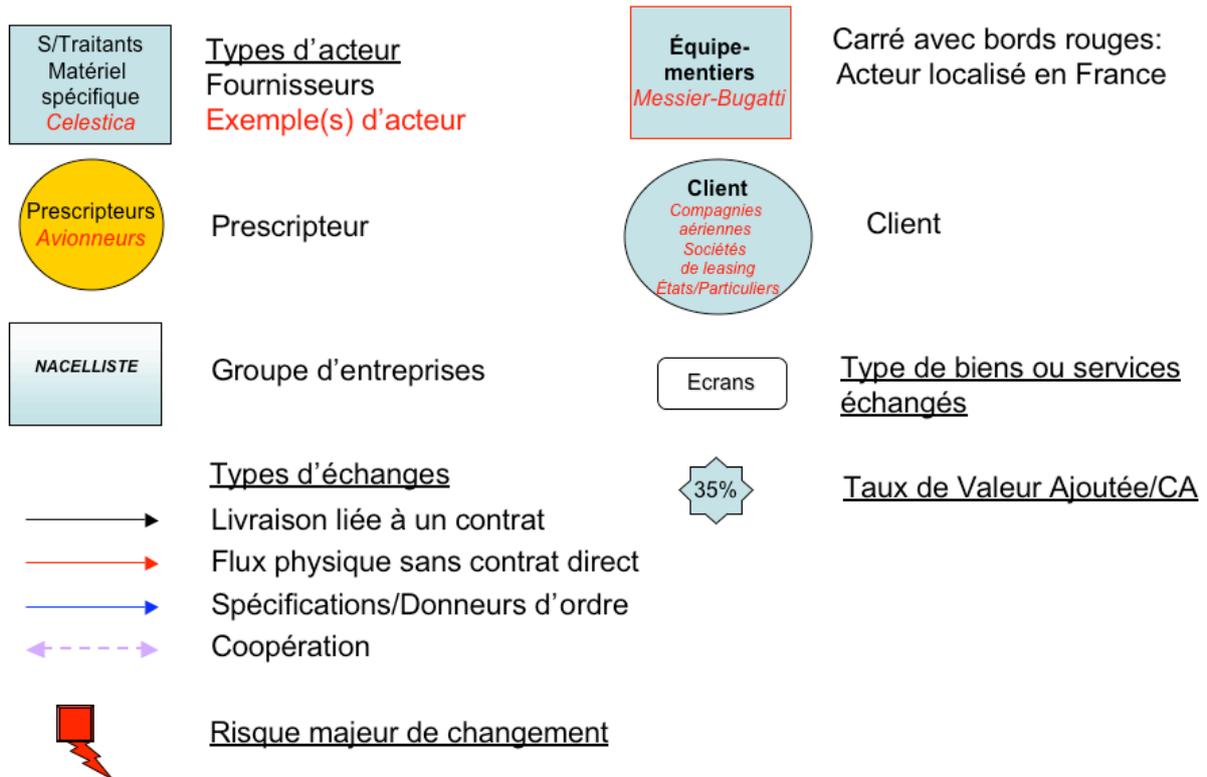
- Architecture / Maître d'œuvre industriel
- Structures aéronautiques
- Génération de puissance
- Nacelles
- Moteurs
- Trains d'atterrissage
- Freins
- Pilotage
- Divertissements à bord (DAB) In-Flight Entertainment (IFE)
- Aménagements intérieurs

La problématique de chaque CDV est rappelée de façon synthétique dans le tableau suivant :

Intitulé de la CDV	Problématique correspondante
Architecture / Maîtrise d'œuvre industriel	Cœur du métier d'avionneur. Lieu des arbitrages réalisés par l'avionneur.
Structures aéronautiques	Matériel avionneur spécifique à un avion ne générant pas ou peu d'activité de rechange
Génération de puissance	Changement de technologie, évolution vers l'avion plus électrique
Nacelles	Matériel spécifique à un avion et un type de motorisation
Moteurs	Matériel compagnie générant des rechanges et pouvant être facturé à l'utilisation
Trains d'atterrissage	Matériel avionneur spécifique à un avion et générant une activité réparation et rechange
Freins	Matériel compagnie générant des rechanges et pouvant être facturé à l'utilisation
Pilotage	Système spécifique à un avion faisant appel à des équipements plus ou moins spécifiques (modularité)

Divertissements à bord (DAB)	Système spécifique avion, terminaux grands public, contenus spécifiques de la compagnie
Aménagements intérieurs	Matériel compagnie contribuant à l'image de celle-ci. Un avion est réaménagé plusieurs fois dans sa vie

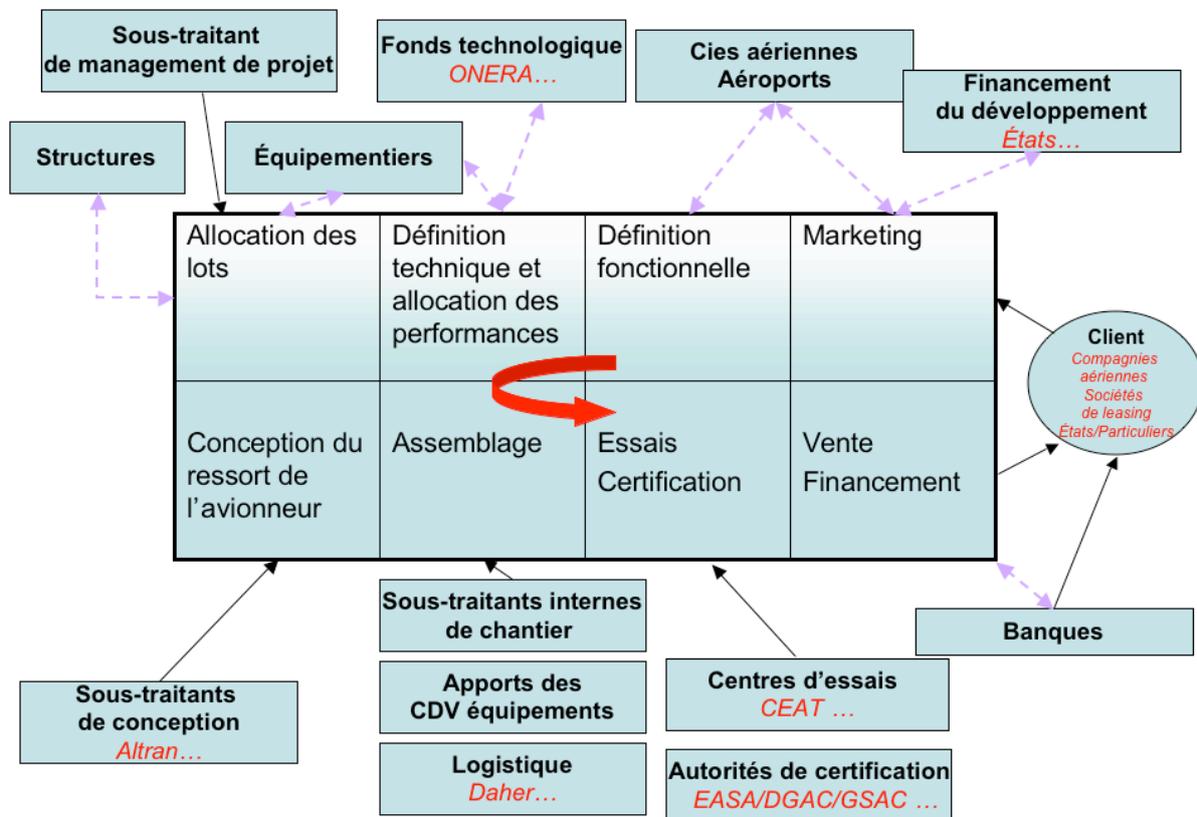
Chaque CDV a été étudiée et représentée en l'état actuel, ses évolutions possibles faisant l'objet de commentaires spécifiques. La représentation des liens répond à la légende suivante :



3.1 Architecture – Maîtrise d'œuvre industrielle

Concevoir la structure d'un l'avion et en réaliser l'assemblage n'est pas le moindre des moyens par lequel un « architecte maître d'œuvre industriel » assume son rôle. Cependant on a souhaité distinguer ici les fonctions de l'avionneur en tant qu' « architecte maître d'œuvre industriel » de celles qu'il exerce dans le domaine des « structures aéronautiques » objet d'une autre CDV.

Il convenait en effet de pouvoir lier les autres CDV à une CDV avionneur qui ne soit pas assimilée systématiquement à la CDV « structures aéronautiques », de même un certain nombre de fonctions réalisées par l'avionneur ne pouvaient être rattachées de façon systématique à la seule CDV « structures aéronautiques »²⁵ Par ailleurs un des rôles de l'architecte maître d'œuvre industriel est d'être en mesure d'arbitrer entre les différents systèmes et les différentes technologies ce qui suppose dans cette fonction un certain recul y compris avec ses propres bureaux d'études de structures.



²⁵ Par exemple l'avionneur établit le devis de puissance électrique sans que ce rôle puisse être rattaché à la CDV « structures aéronautiques »

3.1.1 Situation actuelle

L'avionneur qui assume la responsabilité du projet (investissements particulièrement lourds, temps de retour long, interventionnisme étatique fort) cherche à reporter une partie du risque sur d'autres industriels.

Si les fonctions décrites dans la présente CDV ne sont pas spécifiques au métier d'avionneur, l'environnement dans lequel elles se situent est particulier. Il se caractérise globalement par le montant des investissements en jeu, un temps de retour sur investissement relativement long et l'intervention des Etats en tant que financeurs et autorités de certification.

L'avionneur en tant qu' « architecte, maître d'œuvre industriel » assume globalement la responsabilité de la réussite technique et commerciale d'un projet. Toutefois il tente par divers moyens de réduire ses propres risques techniques et financiers :

- En déléguant à d'autres industriels la conception voire la certification de systèmes complets ;
- En faisant supporter à ces industriels le coût de leurs développements ;
- En demandant à ces industriels une contribution à certains frais communs du programme.

Par ailleurs l'avionneur intègre des équipements dits avionneurs et des équipements compagnies. Les liens et notamment les liens contractuels entre l'architecte maître d'œuvre industriel et ses fournisseurs sont donc spécifiques à chacune des CDV concernées.

Les facteurs d'ancrage territorial des avionneurs ont été jusqu'ici :

- Le financement de la R&T et des développements ;
- Le fonds scientifique et technologique du pays concerné (codes de calcul, moyens d'essai, synergie avec la R&D militaire du secteur aéronautique...)
- La reconnaissance par les autres pays d'un savoir-faire national : (reconnaissance de la certification du pays d'origine ...)

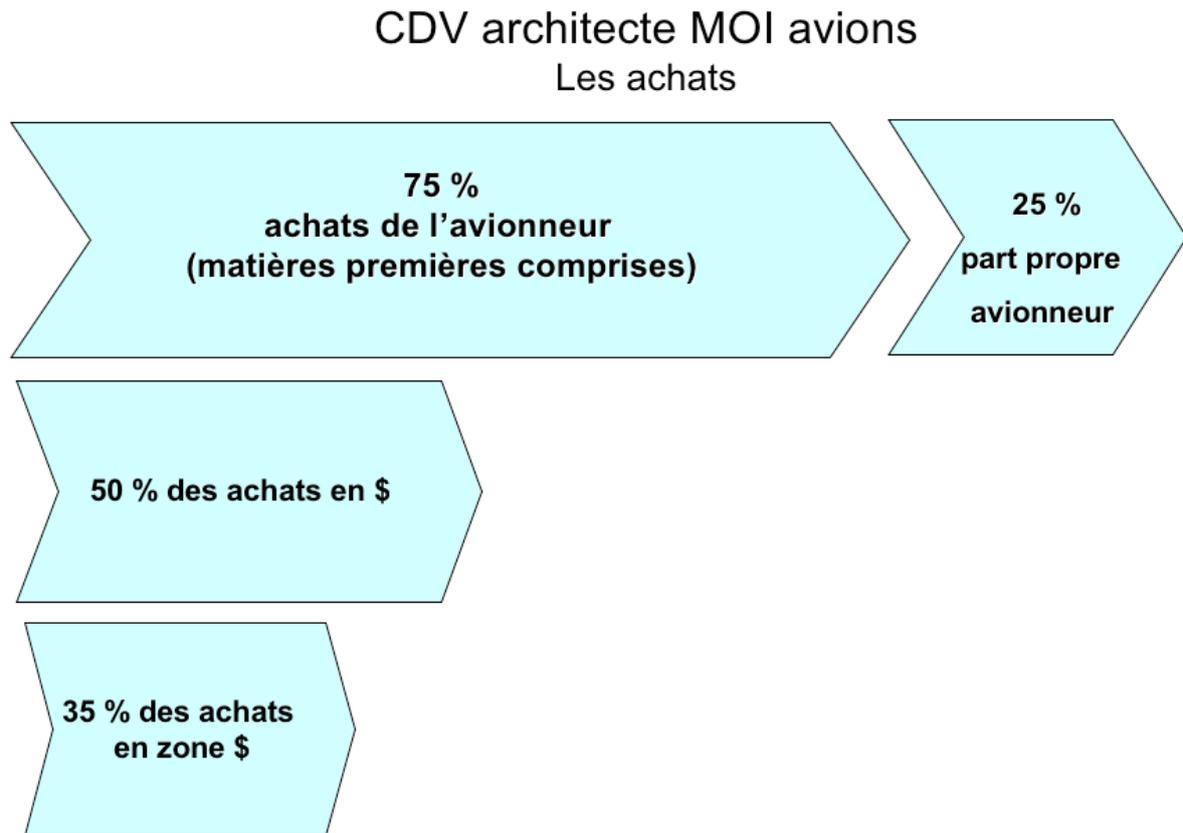
Si la plupart des autres CDV du secteur aéronautique n'échappent pas à la mondialisation, la CDV « architecte maître d'œuvre industriel » reste pour le moment relativement à l'abri de ce mouvement²⁶.

Le ratio de valeur ajoutée sur chiffre d'affaires d'Airbus est la même que celle de l'industrie manufacturière en général soit 25 %²⁷. Il est souligné que si

²⁶ Les avionneurs délocalisent pour le moment au titre de la seule CDV « structures aéronautiques »

²⁷ Les chiffres présentés couvrent à la fois la CDV architecte MOI et la CDV structures aéronautiques

50 % des achats de l'avionneur sont libellés en dollars seulement 35 % sont à l'heure actuelle en provenance de « zones \$ »



Selon le type d'avions, 30 à 40 % de la valeur est concentrée dans trois zones stratégiques de l'avion. Ces trois zones sont celles en interaction avec d'autres structures ou systèmes. Les activités correspondantes (Développement et production) sont localisées pour Airbus en France et en Grande-Bretagne.

<p>La pointe avant</p> <p>(localisation du train avant, du cockpit et de l'électronique)</p>	<p>Le tronçon central</p> <p>(zone de convergence des efforts ailes-carlingue, localisation de la baie hydraulique et localisation du train)</p>	<p>Les ailes</p> <p>(contribution essentielle aux performances de l'avion ; transmission des efforts : poussée moteur, freinage, sustentation ; localisation du train et de divers systèmes)</p>
---	---	---

Au regard du développement dans les services la situation est relativement différenciée selon les avionneurs :

Pourcentage des activités de services (suivi de configuration...)

Bombardier	16 %
Boeing	12 %
Airbus	5 % Objectif Vision 2020 EADS de 20 à 25%

Le développement dans les services dépend de la nature de la clientèle :

- Il est plus important pour une clientèle morcelée de compagnies régionales ;
- Dans les avions de plus de 100 places la concurrence des services des grandes compagnies aériennes est forte et la volonté d'indépendance farouche ;

Ce développement se heurte de toute façon à la volonté des motoristes, des équipementiers de préserver un contact direct avec les compagnies. Par ailleurs on peut se demander quelle est la valeur ajoutée réelle de l'avionneur dans ce type d'activité (ingénierie et suivi de configuration).

3.1.2 Evolutions en cours

Un nouveau contexte concurrentiel et de forts enjeux environnementaux, obligent les industriels à maintenir leur avance technologique (architectures novatrices, optimisation du trafic, outils de simulation) et à chercher des voies de diversification dans les services.

Outre les projets en phase de commercialisation ou en phase de lancement, le programme de remplacement des nouveaux courts courriers (NSR) constituera pour Airbus et Boeing le challenge important de la décennie à venir. Ce remplacement pourra se faire dans un contexte concurrentiel relativement nouveau :

- Marché à partager avec un troisième voire un quatrième avionneur mondial ;
- Segmentation « avions régionaux » / plus de 100 places qui pourrait disparaître²⁸.

Sur le plan technologique, les deux avionneurs Airbus et Boeing sont confrontés sur le marché des avions de plus de 100 places à de forts enjeux

²⁸ Cette segmentation repose actuellement sur différentes origines : filiation des avions régionaux, reconnaissance des capacités Extended range Twin-Engine Operations, scope clauses ...

environnementaux (réduction du bruit, de la consommation et des émissions de CO₂ et NO_x). Ceci constitue un challenge mais aussi l'opportunité de pouvoir maintenir une certaine avance technologique face à de nouveaux entrants.

Les avionneurs ont toujours dans leurs cartons des architectures novatrices qui peuvent répondre à différentes problématiques²⁹ :

- L'aile volante peut répondre à l'encombrement de l'espace aérien et aéroportuaire par une augmentation de la capacité de transport unitaire ;
- Le supersonique ou le proche supersonique peut répondre aux besoins spécifiques sur certaines lignes (classe affaire sur de longues distances) ;

Plus proche de nous le retour possible, motivé par des perspectives d'économies de carburant, des hélices non carénées sur les courts courriers n'est pas sans incidence sur l'architecture générale de l'avion (positionnement des moteurs à l'arrière, interaction hélices carlingue...) Enfin des gains sur la traînée restent possibles et sont à l'étude (par exemple l'étude Smart Fixed Wing Aircraft dans le cadre du projet européen Clean Sky ...)

Pour trouver de nouveaux gains de compétitivité, Airbus et Boeing explorent également de nouveaux champs comme celui de l'ATM (Air Traffic Management) et des « Systems for green opération³⁰ » où des gains de consommation sont à espérer par l'optimisation du routage et des approches aéroportuaires.

Par ailleurs l'introduction massive de nouvelles technologies dans l'aéronautique (plus électrique, composites...) conduit les avionneurs à rechercher de nouveaux outils d'optimisation et de certification :

- Simulation : pré dimensionnement rapide, optimisation multidisciplinaire, modélisation associative ;
- Nouvelles stratégies de vérification et de certification : en utilisant les outils de simulation, les approches multidisciplinaires, l'association des approches globales et locales des phénomènes ;
- Construction de bases de données sur le comportement en service en vue de l'adaptation de la conception aux nouvelles technologies...

Ces approches ne sont pas indépendantes de l'évolution de la certification dans la mesure où, même si les règles de base restent les mêmes, la pratique de celle-ci se modifie en fonction de l'introduction de ces nouvelles technologies, de l'expérience, de la connaissance des phénomènes en jeu et des outils mis à sa disposition. La simulation peut elle-même être utilisée dans les démarches de certification.

²⁹ cf. en Europe « Clean Sky » et de façon plus prospective « Out of the box »

³⁰ Systèmes pour des opérations plus respectueuses de l'environnement

Au plan du développement Airbus comme les autres filiales EADS s'est vu fixé comme objectif de se développer dans les services. Si les perspectives d'Airbus, comme celles de Boeing, sont relativement contraintes : leur développement dans les services aux compagnies se heurte aux activités propres des compagnies traditionnelles clientes, certaines compagnies non traditionnelles sont cependant demandeuses de ce type de services : maintenance, formation de pilotes...

Airbus se développe également dans le militaire avec des ventes d'appareils (ravitaillement en vol, transport tactique) ainsi qu'avec des ventes de services associés³¹.

3.1.3 Problématiques pour le futur

Le duopole actuel réussira-t-il à maintenir son avance technologique face aux nouveaux entrants ?

Cette chaîne de la valeur repose sur des fonctions fondamentales d'architecte. Par nature elle est peu évolutive. Son environnement lui est fortement évolutif dans un contexte de mondialisation voire de banalisation du secteur industriel aéronautique.

Le risque d'apparition d'un troisième voire d'un quatrième avionneur mondial est le plus évident. Embraer, Bombardier, Sukhoï, Avic... sont capables de venir prendre des parts de marché au duopole actuel. Pour certains avionneurs l'existence d'un marché « non green »³² peut constituer l'occasion de faire ses armes et de concurrencer le duopole sur des marchés relativement captifs (marché intérieur chinois par exemple).

Les prochains programmes courts courriers constitueront une épreuve de vérité dans le rapport entre le duopole et ces concurrents en fonction de la capacité d'Airbus et de Boeing à maintenir ou non une avance technologique et un ticket d'entrée élevé sur ce marché :

- Quels concepts et timing pour les New Short Range du duopole ?

D'autres risques concernant directement Airbus en tant qu'architecte ont été implicitement cités dans les paragraphes ci-dessus. Nous ajouterons ici certains aspects qui peuvent également mériter une certaine vigilance :

- La modification du retour industriel au plan national dans un contexte de mondialisation des programmes : Quel potentiel de financement et de délocalisation d'Airbus hors pays Airbus ?
- Le découplage des acteurs et des marchés civils et militaires alors que les Etats ont jusqu'à présent joué un rôle déterminant dans cette industrie ;

³¹ Contrat de service de ravitaillement en vol au bénéfice de la Royal Air Force.

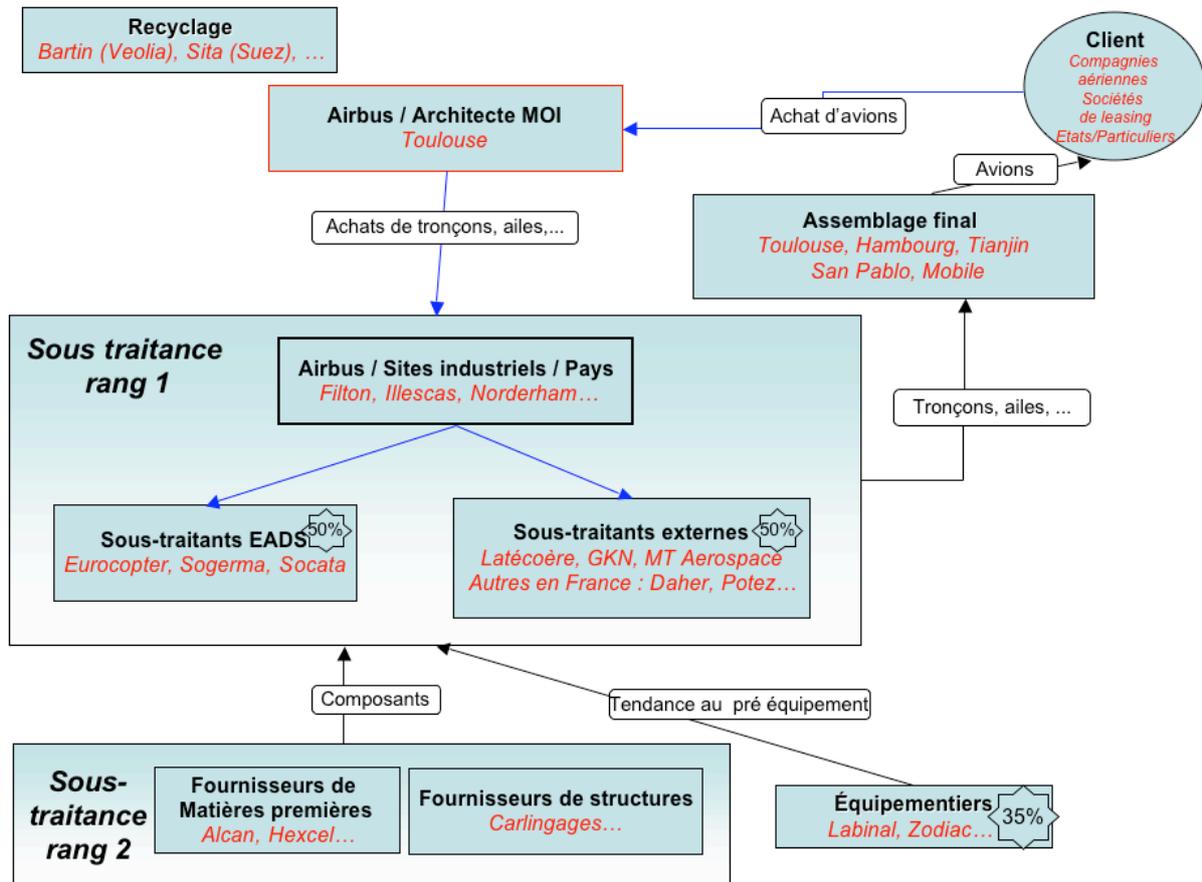
³² Il s'agit de marchés où les avions ne seraient pas aux normes occidentales (certification ou normes environnementales). Les marchés intérieurs chinois, russes, africains ... peuvent constituer des exemples possibles de tels marchés.

- Le maintien à un haut niveau du fonds technologique des pays concernés (recherche, capacité d'essais..) ;
- La capacité financière et humaine des avionneurs à mener plusieurs programmes de front ;
- Le maintien d'un haut niveau de sécurité et de reconnaissance de la certification.

Sans oublier la question du potentiel de développement d'Airbus et plus globalement d'EADS dans le militaire et notamment aux USA qui dépasse le cadre de la présente étude.

3.2 Structures aéronautiques

3.2.1 Situation actuelle



L'introduction des matériaux composites (dont la fabrication est plus automatisable) et le pré montage des équipements dans les tronçons ne risquent-ils de modifier les caractéristiques de cette activité ?

La situation d'Airbus dans les structures aéronautiques est le reflet de l'histoire de l'avionneur européen avec une situation relativement figée dans l'équilibre des retours industriels entre les « pays dits Airbus » La négociation

des sites Airbus à céder dans le cadre du plan Power 8 a montré que les salariés et les Etats restaient très sensibles au maintien de cet équilibre.

Globalement le modèle d'Airbus dans les structures aéronautiques (et *a fortiori* en prenant le contour de la maison mère EADS³³) reste plus intégré que celui de Boeing. Cette appréciation doit être cependant accompagnée du constat qu'Airbus tout en étant très intégré conserve (et conservera même après la mise en œuvre de son plan de cession annoncé en 2007) un grand nombre de sites de fabrication³⁴.

Pour ce qui concerne les chaînes d'assemblage, Boeing ne dispose que d'une chaîne d'assemblage dans les avions de plus de 100 places là où Airbus en disposera de trois (Toulouse, Hambourg et bientôt Tianjin) voire de cinq si on ajoute les sites d'Airbus Military Aircraft (San Pablo et potentiellement Mobile) Cette situation reflète, outre le poids de l'histoire, une évolution récente de délocalisation des chaînes d'assemblage pour favoriser l'accès aux marchés³⁵. Cette tendance est confortée par un contexte de forte parité euro contre dollar.

Cette situation néanmoins relativement intégrée de l'avionneur européen peut être considérée comme contraignante dans la mesure où elle limite les financements aux capacités d'Airbus, de sa maison mère EADS et à celles des pays dits Airbus. A l'inverse elle peut être considérée comme un potentiel de délocalisation dans lequel Airbus pourra le moment venu puiser pour accéder à de nouvelles sources de financement³⁶ ou à de nouveaux marchés.

Sur un plan technologique on peut dire qu'Airbus et Boeing sont potentiellement au même niveau même si Boeing a pris une avance en matière de taux de recours aux matériaux composites sur son programme B787. Les besoins de financement nécessités par les technologies composites, peuvent expliquer, avec le besoin de se recentrer sur le cœur du métier, la vente par l'avionneur européen de certains sites spécialisés dans les structures³⁷.

Ces évolutions sont synthétisées dans les chiffres suivants qui concerne le projet A350 :

- 53% de composites / 19% d'alliages d'aluminium ;
- 15% du programme pourrait aller à la Chine, la Corée et la Russie.

Une des caractéristiques de l'activité « structures aéronautiques » réside dans l'importance des coûts récurrents (coûts de fabrication) par rapport aux coûts de développement. Il s'agit d'une grande différence par

³³ Au sein du groupe EADS plusieurs filiales sont des sous-traitants de structures aéronautiques pour Airbus (Sogerma, Eurocopter, Socata)

³⁴ A savoir : Saint Nazaire, Nantes, Meaulte, Toulouse, Hambourg, Nordenham, Bremen, Varel, Laupheim, Broughon, Filton, Getafe, Illescas, Puerto Real.

³⁵ Chaîne de Mobile pour exporter le MRTT aux USA, chaîne de Tianjin en regard d'un important contrat de vente d'A320 sur le marché chinois.

³⁶ Le Japon et la Chine sont annoncés comme participants au financement de l'A350

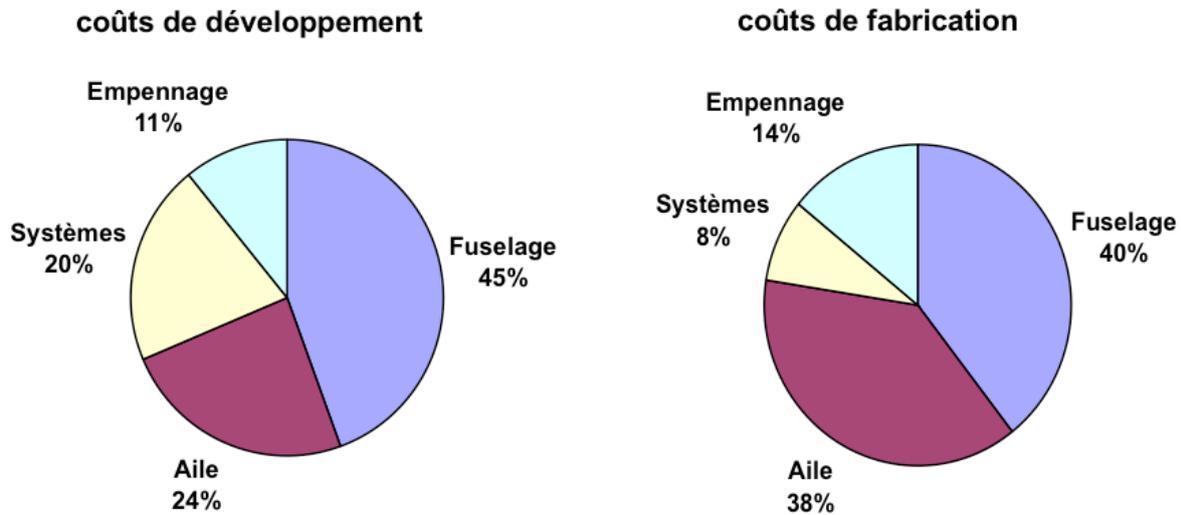
³⁷ En vendant ces sites Airbus reporte l'investissement dans les composites sur le repreneur

rapport aux autres systèmes. On peut lier cela au fait que pour les autres systèmes, les technologies mises en œuvre (usinage mécanique, assemblage électronique) se prêtent plus à l'automatisation.

Les possibilités d'automatisation de la fabrication de certaines structures composites pourraient cependant modifier cette situation.

CDV structures aéronautiques

Des coûts récurrents plus importants que les autres systèmes



Source étude MIT / ACD 2004

Systèmes = le reste sauf trains, moteurs, nacelle et aménagements cabine

L'assemblage final (toutes spécialités comprises) ne représente que de 6 à 8 % du coût d'un avion selon la génération. Ce pourcentage reflète l'organisation industrielle. **Le pré montage des équipements dans les tronçons modifiera ces ratios pour les programmes à venir comme il pourra modifier la nature de l'intervention des sous-traitants de cette chaîne de valeur avec des prises de compétences dans la logistique et les activités de montage.**

3.2.2 Evolutions en cours

Tous les problèmes relatifs aux matériaux composites ne sont pas résolus. Les interactions « systèmes – structures » nécessitent la mise

en place d'une ingénierie multidisciplinaire interactive.

La bataille entre les projets B787 et A350 n'est pas totalement terminée puisque aucun de ces avions n'a à ce jour réalisé son premier vol, cependant les deux avionneurs pensent déjà au prochain épisode qui sera celui du remplacement des A320 et B737³⁸.

Ce rendez-vous est crucial pour les deux avionneurs, leurs équipementiers et leurs sous-traitants. Toutefois l'opportunité du lancement de ces programmes pourra dépendre essentiellement des progrès qui sont attendus sur les moteurs et leur consommation. Les avionneurs sont engagés de leur côté dans des programmes de R&T visant à diminuer la traînée aérodynamique avec des dispositifs passifs voire actifs.

L'introduction massive des matériaux composites pose des problèmes qui ne sont pas tous résolus. Au demeurant le choix entre alliage d'aluminium, laminé fibres aluminium ou composite peut dépendre de la zone considérée de la structure, des sollicitations qu'elle subit (bilan masse³⁹) et du bilan économique (taux d'échange autorisé⁴⁰ et bilan buy to fly⁴¹). **La coexistence des technologies dans les structures aéronautiques est donc à envisager.** Cependant un des arguments à ne pas négliger de la technologie composite réside dans la possibilité d'automatisation de la fabrication d'éléments de structure (nappage automatisé)

La conception des structures aéronautiques composites n'est pas encore optimisée, cette optimisation dépendra en partie du retour d'expérience des programmes A380, B787 et A350, et de l'intégration de ce retour d'expérience dans les outils de conception et de simulation voire dans les règles de certification.

Une ingénierie multidisciplinaire est à inventer pour concevoir de façon interactive (plutôt qu'itérative) les structures et les systèmes qu'elles accueillent (couplage vibratoire systèmes - structures, couplage thermique systèmes - structures ...). Ce mode de conception et le retour d'expérience devraient permettre de tirer dans le futur le meilleur parti de l'utilisation des composites dans les grandes structures aéronautiques.

3.2.3 Problématiques pour le futur

Les risques liés à l'introduction massive d'une nouvelle technologie (les

³⁸ Le segment des mono-couloirs représente 70% de la demande mondiale en avions neufs.

³⁹ Le bilan masse est favorable aux composites pour un travail unidirectionnel ou en fatigue. Il est favorable aux alliages d'aluminium pour la résistance aux chocs, un travail statique ou dans les 3 dimensions.

⁴⁰ Surcoût que l'on s'autorise pour réduire la masse d'un kilo. Le taux d'échange peut varier de quelques centaines d'Euros à quelques milliers d'Euros par kilo lorsque l'on passe d'un court courrier à un long courrier.

⁴¹ Masse achetée / Masse de la pièce sur avion

composites) dans une activité comme le transport aérien ne peuvent être négligés⁴². La tenue des grandes structures composites lors d'évènements exceptionnels (chocs, incendie, foudre...) pourra apporter un complément de retour d'expérience à prendre en compte pour le futur. De même les questions de recyclage en fin de vie devront être traitées.

Enfin et bien que cela constitue tout autant un risque qu'une opportunité, il faut souligner que les structures aéronautiques sont souvent utilisées par les avionneurs comme moyen d'échange pour obtenir des financements ou des marchés. **La tendance à la délocalisation est donc actuellement importante sur cette chaîne de valeur**⁴³.

La possibilité de spécialisation de l'outil industriel, déjà évoquée dans le paragraphe matériaux, est rappelée ici, elle pourrait conduire à :

- La survivance de compétences dans les alliages d'aluminium sur des particularités structurelles (contraintes mécaniques spécifiques) non automatisables. Ce tissu industriel pourrait s'orienter vers une activité de main d'œuvre qualifiée (chaudronniers aéronautiques) et un outil industriel « de type artisanal » dans le bon sens du terme ;
- Le développement d'un outil industriel dans la réalisation de pièces en composites dont la réalisation ne peut être automatisée. La main d'œuvre dans la fabrication de ce type de pièces est peu qualifiée, le savoir-faire étant dans l'industrialisation et les gammes de fabrication ;
- Le développement d'un outil industriel spécialisé dans les pièces en composites dont l'automatisation de la fabrication est envisageable. Ce type d'activité nécessite de forts investissements et utilise peu de main d'œuvre (la qualification s'oriente vers la conduite, le réglage et l'entretien des machines).

Les problématiques de localisation de ces différents types d'activité peuvent être sensiblement différentes.

Une architecture de type « aile volante » ne peut se concevoir par filiation des architectures classiques et nécessite donc un investissement technique et industriel important. Elle peut ainsi conduire l'avionneur à reprendre en mains des parties qu'il avait finies par déléguer à ses fournisseurs. Par ailleurs la question se pose également de savoir comment les structures correspondantes pourraient être sous-traitées par l'avionneur⁴⁴.

La question d'une différenciation des outils industriels pour les avions de grande capacité type aile volante, d'une part, et pour les avions de petite et

⁴² Il convient cependant de souligner que cette introduction s'est faite de façon progressive : échec de Rolls-Royce dans l'introduction de fans en fibre de carbone (1970), empennage en bore du Mirage F1, caisson de dérive et élevons du Mirage 2000. En aviation civile le début des années 90 a vu l'introduction des fibres carbonées sur les fuselages puis les structures caissons.

⁴³ Boeing a sous-traité plus de 70% du B787 dont une bonne partie à l'étranger (Japon, Italie...)

⁴⁴ De façon instinctive on pressent que le saucissonnage d'une aile volante en blocs à sous-traiter sans être impossible devra être réinventé.

moyenne capacité type fuselage-ailes, d'autre part, peut donc se poser. La segmentation actuelle avions régionaux / avions de plus de 100 places et celle des avionneurs pourraient alors migrer vers une segmentation moins de 300 places / plus de 300 places⁴⁵.

On voit donc au final que la délocalisation de la fabrication des structures aéronautiques pourrait être soumise dans le futur à des forces contradictoires :

- Le développement d'une activité matériaux composites automatisable pour laquelle le coût de main d'œuvre n'est pas un facteur important de localisation ;
- La nécessité sur des procédés nouveaux et des architectures nouvelles d'un resserrement de la maîtrise de l'avionneur.

3.3 Génération et distribution de puissance

3.3.1 Situation actuelle

L'introduction des systèmes électriques s'est faite progressivement et gagne de plus en plus de fonctions.

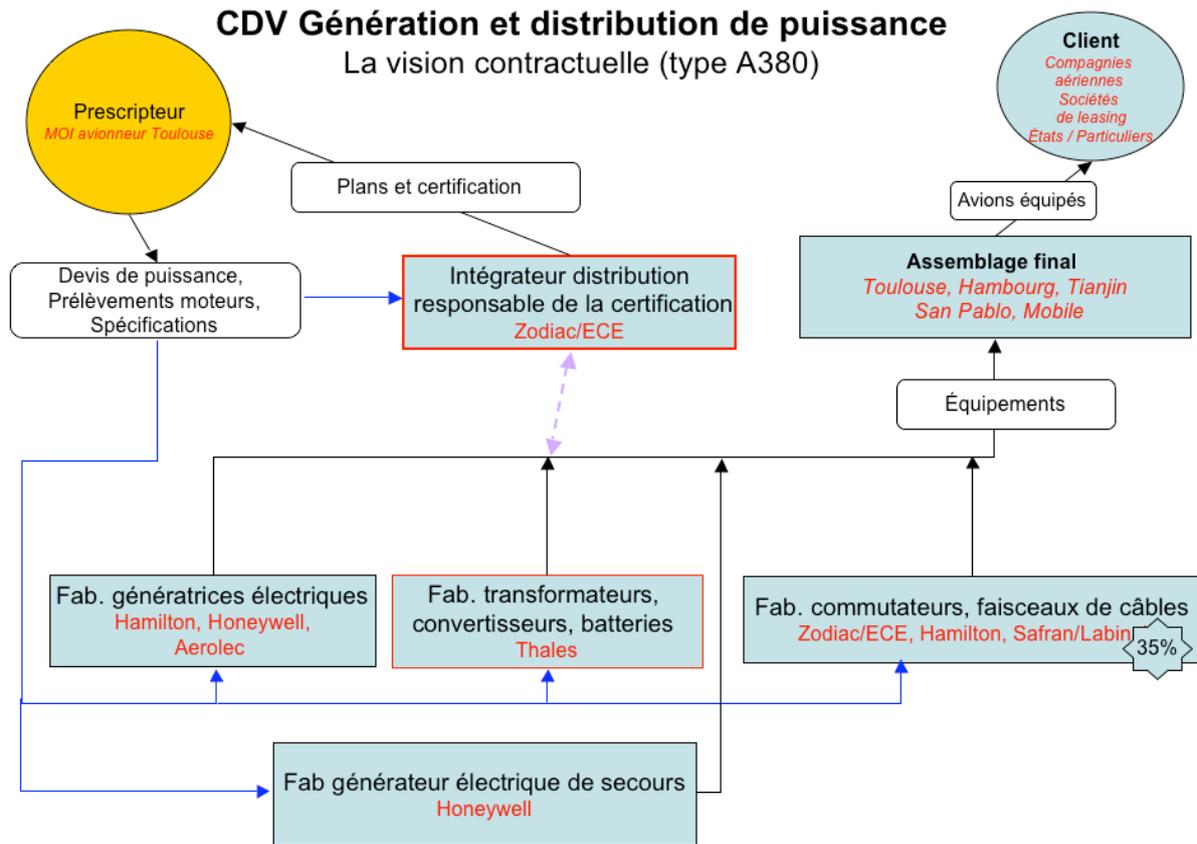
La CDV Génération de puissance telle qu'elle est décrite ici prend en compte une évolution en cours, celle de l'avion plus électrique. Dans le schéma d'avion plus électrique, il est admis que les fonctions seront de plus en plus assurées via des systèmes électriques (plutôt que des systèmes hydrauliques).

Cette évolution n'est pas une rupture, on peut la faire remonter à l'utilisation des premières commandes de vol électriques à partir de 1964 sur Mirage IV puis à l'utilisation des commandes de vol électriques sur les premiers Airbus. La véritable nouveauté est que la logique est désormais poussée jusqu'au bout : la commande et la puissance sont désormais électriques.

L'intérêt de cette évolution réside dans la possibilité d'une réduction de la masse des systèmes et peut être surtout de leurs connexions. Il réside aussi sur le plan économique et, sur le plan de la conception, dans la possibilité d'une standardisation des composants, la spécificité des systèmes se concentrant dans leurs logiciels de commande⁴⁶.

⁴⁵ Dans les configurations classiques à fuselage et ailes distinctes il est admis que le gain lié à la capacité tend vers une asymptote au-delà d'une capacité de 300 passagers.

⁴⁶ On retrouve ici un des aspects qui a fait le succès des commandes de vol électriques.



La liste des fonctions réalisées avec un système électrique ne cesse de croître :

- Freins électriques et conditionnement d'air sur le B787 ;
- Actionneurs des inverseurs de poussée et vérins de commandes de vol (EHA) sur l'A380 ;
-

Les perspectives portent dorénavant sur les pompes (carburant, huile, lubrifiant), le starter générateur, les commandes de géométrie, l'anti-givrage, les commandes des trains, l'orientation des roues...

Une des conséquences de cette évolution est que **la puissance électrique installée à bord des avions connaît une croissance importante** : de 180 kW sur l'A320 à 800 kW prévus sur son remplaçant et plus de 1MW sur les A380 et B787.

Il est à noter que dans l'exemple de CDV cité (exemple de l'A380) la responsabilité de l'intégration de la distribution a été confiée par Airbus à un fournisseur (Zodiac / ECE), que celui-ci est un spécialiste de la commutation primaire et qu'il a assumé cette maîtrise vis-à-vis des autorités de certification. Il convient de souligner également son positionnement relativement à l'écart des contrats entre équipementiers et avionneurs et flux de matériels. Il n'est pas certain que ce type de configuration soit pérenne.

3.3.2 Evolutions en cours

L'emploi plus étendu de l'énergie électrique suppose de mesurer sa compatibilité avec les autres systèmes.

Les défis technologiques relatifs à la génération et à la distribution de la puissance électrique sont nombreux :

- Criticité du système et surveillance réseau ;
- Augmentation des tensions distribuées (230 Vac) et recours au courant continu (270Vdc voire 540 Vdc) ;
- Commutation des fortes puissances et électronique de puissance ;
- Gestion de la thermique et dissipation des pertes d'énergie ;
- Sécurité
- Conception modulaire (à l'instar de l'avionique) ;
- ..

Comme dans d'autres domaines aéronautiques faisant l'objet d'une évolution, l'optimisation passera par des outils de conception multidisciplinaires et par le retour d'expérience. Par exemple le développement de la puissance électrique sur des avions comprenant plus de composites fait apparaître des problèmes de dissipation d'énergie et de refroidissement, des problèmes de distribution de masse. **L'optimisation ne peut être que multidisciplinaire et doit couvrir plusieurs systèmes.**

3.3.3 Problématiques pour le futur

La génération électrique reste l'affaire des spécialistes de l'aéronautique surtout américains et implique probablement une modification de l'activité des sous-traitants traditionnels.

En ce qui concerne les nouvelles technologies, il a déjà été indiqué que leur introduction conduit plus à une redistribution des positions des industriels déjà présents qu'à l'apparition d'ensembliers nouveaux au rang 1. Ceci se confirme dans la génération électrique où tous les acteurs sont issus de l'industrie aéronautique.

Deux grands acteurs américains Honeywell et surtout Hamilton disposent de la panoplie la plus complète et sont présents sur la distribution secondaire celle où les enjeux technologiques sont les plus importants avec l'arrivée de la commutation électronique de puissance⁴⁷.

Personne en Europe ne maîtrise la chaîne complète. Safran dispose de certaines clés (le prélèvement sur les moteurs avec Hispano-Suiza, le câblage avec Labinal, ainsi que certaines « charges » avec Messier Bugatti) . Zodiac a une autre clé avec la distribution primaire et a été choisi par Airbus sur l'A380 et l'A350. **Mais il n'y a aucun européen sur la distribution secondaire et Zodiac reste vulnérable en devant sous-traiter celle-ci à Hamilton.**

⁴⁷ La commutation primaire reste mécanique ou électromécanique

Aerolec (association entre Thales et Goodrich) a été retenu pour les génératrices de l'A380 mais ne l'a pas été sur l'A350 ce qui rend cette association fragile.

Les industriels européens tentent de rattraper le retard notamment dans le cadre du programme générique européen POA (Power Optimised Aircraft) .

Outre la question du retard européen, d'autres problématiques sont inhérentes à cette chaîne de valeur :

- **Evoluera-t-on à terme vers une conception modulaire de la génération et distribution de puissance où l'essentiel de la valeur sera-t-il dans les logiciels ?**

Cette conception semble exister dans certains groupes. Cependant les spécialistes de Safran ne pensent pas qu'elle prévaudra car on reste dans la distribution de puissance et non d'informations. Il y aura cependant une tendance à la conception décentralisée (modulaire et mutualisée) avec de la transmission de données entre modules mais cette partie devrait rester du domaine de l'avionneur.

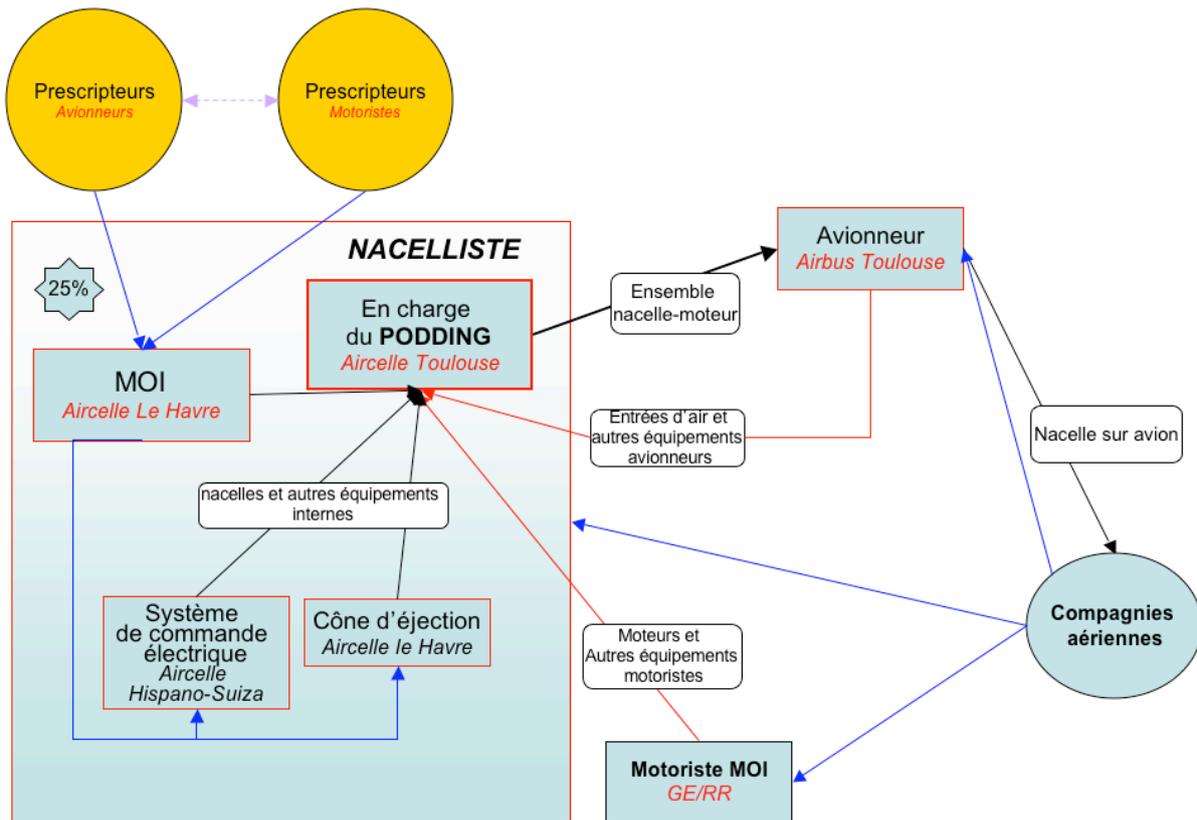
- Enfin il ne faut pas éluder le fait que les technologies électriques se développent au détriment des technologies qu'elles remplacent (notamment hydrauliques). **Un des risques est donc l'appauvrissement voire la disparition d'une partie du tissu industriel de sous-traitance (usinage mécanique, tuyauterie, décolletage) qui été jusqu'à présent sur les technologies hydrauliques, mécaniques et qui ne pourront pas se reconvertir⁴⁸.**
- **À l'inverse, le développement de nouvelles technologies motivées par les besoins de l'aéronautique peut favoriser l'émergence ou le développement d'une industrie (électronique de puissance, commutation, systèmes) qui pourra éventuellement bénéficier à d'autres secteurs.**

3.4 Nacelles

3.4.1 Situation actuelle

Les concepteurs de nacelles doivent assurer l'interface entre les différents éléments d'un avion et adapter leurs produits à chaque type de moteur et d'avion.

⁴⁸ Il est à souligner que Hispano - Suiza spécialisé dans les transmissions de puissance mécaniques a pris ce virage dès le début des années 2000 ce qui correspondait pour cette société à un changement assez radical de métier.



Il convient tout d'abord de rappeler les différentes fonctions remplies par **les nacelles des moteurs qui sont une interface entre le moteur, l'enveloppe aérodynamique de l'avion et la structure de celui-ci**. Cette interface contribue :

- Au freinage de l'avion via les inverseurs de poussée ;
- A l'atténuation du bruit des moteurs ;
- A la sûreté des vols (contention des feux et des débris moteurs).

Le paysage industriel s'est aujourd'hui structuré dans les grandes nacelles en un duopole Safran / Aircelle, d'une part, et Goodrich de l'autre. Les deux avionneurs Airbus et Boeing qui avaient des activités nacelles s'en sont progressivement séparés dans les années au tournant des années 90 et 2000. A noter cependant que les entrées d'air et les pylônes restent sous maîtrise d'œuvre avionneur (élément d'interaction aérodynamique avec l'aile et élément de transmission des efforts à la structure).

Les nacelles sont des structures aéronautiques, elles évoluent vers une utilisation accrue des matériaux composites. Elles sont cependant un peu particulières compte tenu de l'environnement moteur (température, huile et carburant) et des qualités d'atténuation du bruit que l'on exige d'elles.

Le concepteur de nacelles travaille en relation avec l'avionneur (aérodynamique), le motoriste et un certain nombre d'équipementiers. Il

est aussi concepteur de système (les inverseurs). Il a connaissance de l'environnement moteur et réalise l'intégration d'un certain nombre d'équipements moteurs (support et couplage). Pour des raisons d'organisation industrielle, il réalise également l'intégration du moteur à la nacelle (podding) avant livraison de cet ensemble sur la chaîne d'assemblage avion.

Les industriels du secteur réalisent en général les inverseurs de poussée qui sont des éléments aérodynamiques actionnés par un mécanisme complexe.

Les nacelles sont des produits particuliers à un avion et à un type de moteur, ce qui signifie que dans le cas le plus courant d'une double motorisation l'amortissement est à réaliser sur un nombre réduit d'avions.

Il est à noter que les industriels présents sur ce secteur ont souvent des activités complémentaires : structures aéronautiques, fans, composites pour « ambiance tiède ».

3.4.2 Evolutions en cours

La réduction du bruit et l'utilisation de matériaux composites sont les deux priorités de ce secteur.

Le développement des technologies et savoir-faire en matière de réduction de bruit constitue une des priorités actuelles des concepteurs de nacelles. Les voies peuvent être de différentes natures (impédance architecturale ou nature des matériaux).

Le développement de l'expertise en matériaux composites est une autre des priorités des industriels du secteur. Ainsi, Aircelle est avec SPS au sein du groupe Safran un des pôles d'excellence pour les matériaux composites à matrice organique. Aircelle développe également des compétences non liées aux nacelles mais en vue de répondre aux besoins des motoristes. Ainsi Aircelle développe un procédé de mise en œuvre des matériaux composites, le RTM (Resin Transfer Molding) ou moulage par injection basse pression, qui est un procédé envisagé pour certaines pièces de moteurs en trois dimensions (fans ou redresseurs de flux par exemple).

Le développement des applications électriques concerne également les industriels des nacelles en tant que concepteurs de systèmes (commandes électriques d'inverseurs de poussée) ou en tant qu'intégrateurs d'équipements dans un environnement sévère.

3.4.3 Problématiques pour le futur

La fonction même de la nacelle soulève le problème de la responsabilité en cas de problèmes. L'activité de ce secteur pourrait être menacée par diminution du nombre de réacteurs munis d'inverseurs de poussée à moins que les concepteurs de nacelles intègrent d'autres composants.

Du point de vue du client (les compagnies aériennes), les nacelles sont une « zone grise » où avionneurs, motoristes et nacellistes se renvoient la responsabilité en cas de difficultés. C'est la raison pour laquelle les compagnies cherchent à pousser le concept de power plant vers une seule responsabilité tout ce qui se trouve accroché sous les pylônes. Ceci se heurte néanmoins à des difficultés matérielles et juridiques dès lors qu'il y a trois industriels distincts concernés. On notera cependant les manœuvres en cours dans le secteur industriel avec :

- l'annonce le 15 juillet 2008 par Safran et GE de la création d'une nouvelle joint-venture dédiée à l'intégration des nouveaux moteurs sur les futures familles de mono couloirs.

Ceci vise sans doute à répondre à une meilleure optimisation de l'intégration moteurs-nacelles mais dans les faits va également dans le sens souhaité par les compagnies aériennes.

Le concepteur de nacelles est confronté à un certain nombre de risques :

- celui d'être sur une motorisation qui ne tient pas ses promesses n'est pas négligeable. Ce risque est bien sûr annulé si on réalise la nacelle de la motorisation concurrente dans le cas d'une double motorisation ;
- Les contrats des concepteurs de nacelles comprennent désormais des clauses d'atténuation de bruit des moteurs, la non-obtention des objectifs attendus peut pénaliser l'ensemble du programme (pénalités ou limitation sur certains aéroports) et encore plus directement l'industriel responsable de la conception des nacelles.

A plus long terme **l'activité inverseurs de poussée, qui représente 50% de l'activité totale, peut être menacée :**

- sur les 4 moteurs de l'A380, deux seulement ont été équipé d'inverseurs de poussée
- sur les Falcon 7X les inverseurs de poussée sont proposés en option et pourront ne plus être proposés à terme ;

Les architectures open rotor peuvent, dans le futur, réduire la contribution de l'industriel spécialisé dans trois fonctions : contribution au freinage, contribution à l'atténuation du bruit et contention d'éventuels débris.

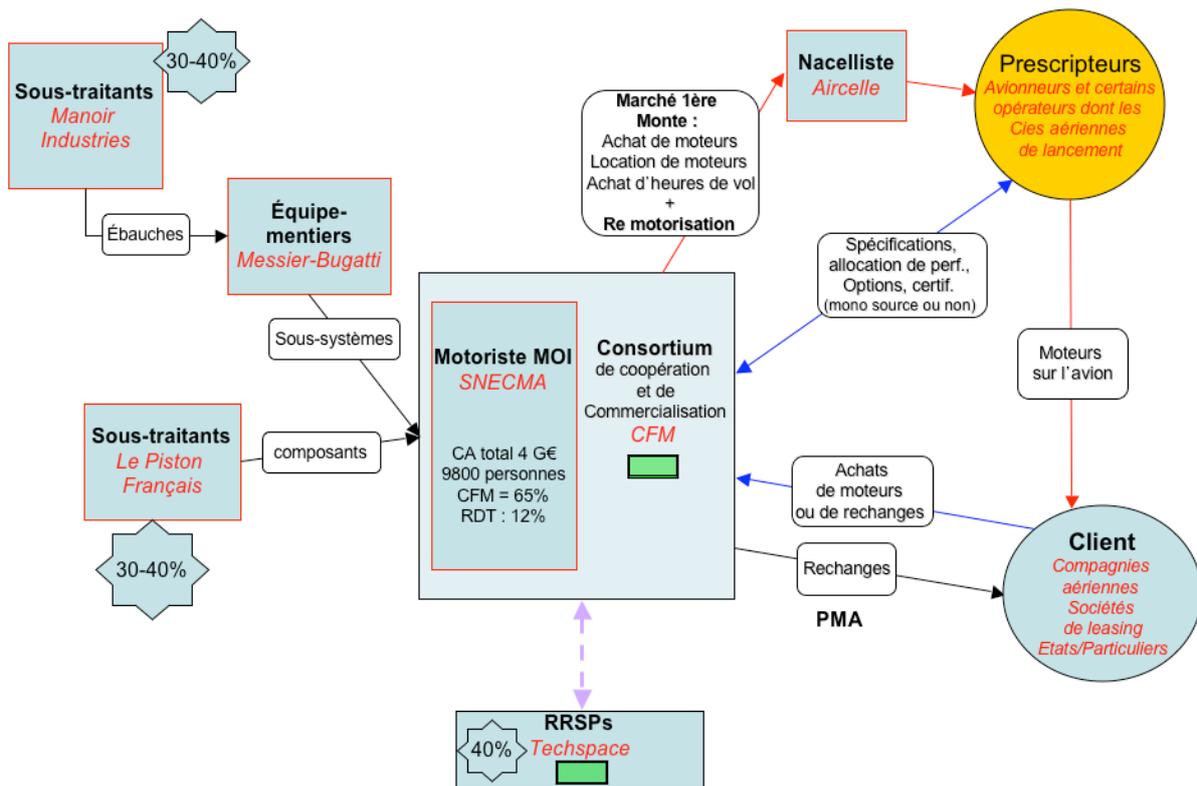
Ces fonctions devront faire l'objet d'une redistribution vers l'avionneur et le motoriste.

Le fabricant de nacelle illustre cependant ce que pourraient devenir dans le futur les sous-traitants de structures. **Des concepteurs capables non seulement de concevoir une structure mais aussi de concevoir et réaliser l'intégration d'un certain nombre de composants mécaniques et autres dans cette structure. Le pré-équipement des tronçons de structures conduira à cette évolution.**

3.5 Moteurs

3.5.1 Situation actuelle

Les pièces de rechange et l'entretien génèrent deux à trois fois le prix d'achat du moteur. Les motoristes collaborent dans de nombreux domaines en s'appuyant sur une conception modulaire des produits.



Les moteurs représentent environ 25 % de l'activité aéronautique civile. On considère qu'un moteur génère de deux à trois fois son prix en rechanges pendant sa vie. L'activité est, par les rechanges, très liée à l'activité transport aérien. La dépendance des motoristes vis-à-vis de l'activité transport aérien a été renforcée avec l'apparition des contrats à l'heure de vol en remplacement des contrats de vente de moteurs. Ainsi chez les grands motoristes moins de 20 % du montant des facturations concerne des ventes de moteurs neufs. Souvent le moteur est vendu à un prix symbolique. **La majorité des revenus et surtout les marges proviennent des pièces de rechange, de la location de moteurs ou encore des facturations à l'heure de vol.**

Il existe à l'heure actuelle quatre motoristes majeurs sur le segment des avions commerciaux. Ces quatre motoristes (General Electric, Pratt & Whitney, Rolls-Royce, Snecma) sont tous présents dans les moteurs d'avions de combat où ils ont bénéficié de financements militaires⁴⁹.

La position de Snecma est un peu particulière dans la mesure où le motoriste est peu présent dans les parties chaudes des avions commerciaux. Cependant la position du groupe Safran dans la propulsion est aussi liée à ses activités dans la motorisation des hélicoptères (Turbomeca), la propulsion spatiale (Snecma et SPS) et la propulsion des missiles (Microturbo et SPS).

Le mode de fonctionnement des motoristes est très coopératif, ainsi sur le cœur du marché de la motorisation des avions commerciaux deux consortiums CFM et IAE associent General Electric et Snecma, d'une part, Pratt & Whitney, Rolls-Royce, JAEC (IHI MHI et KHI) et MTU, d'autre part. Ces coopérations sont favorisées par la conception modulaire des moteurs (compresseur, étages turbines...) qui permet aux motoristes de partager les risques et les coûts de développement.

Les parties les plus nobles et les plus rémunératrices sont les parties chaudes des moteurs (turbine HP notamment) qui génèrent une activité rechange importante, elles sont l'apanage des motoristes architectes.

Le ticket d'entrée est très élevé dans les parties chaudes et la maîtrise d'œuvre industrielle. Il est lié au savoir-faire mais aussi à la confiance des avionneurs et compagnies aériennes au regard du risque encouru sur un nouveau programme.

3.5.2 Evolutions en cours

Le moteur est l'élément critique de tous nouveaux programmes. Les motoristes fonctionnent sur un modèle économique qui les rend dépendants des aléas du transport aérien.

La disponibilité d'un nouveau moteur est actuellement ce qui conditionne le lancement d'un programme d'avion. En effet, la meilleure efficacité est obtenue par la synchronisation de la mise sur le marché de nouveaux moteurs avec celle de nouveaux avions. Sur un plan technique l'intégration moteur/avion voire moteur/avion/génération électrique prend de plus en plus d'importance. Le « moteur étant l'horloge des nouveaux programmes », on peut espérer que l'apparition de nouveaux moteurs vers 2016 va susciter de nouveaux programmes dont les NSR⁵⁰.

GE et R-R présentent des projets de nouveaux moteurs disponibles vers

⁴⁹ L'aspect dual de l'activité moteur fait l'objet d'une annexe

⁵⁰ New Short Range devant succéder aux actuels A320 et B737.

2016. Le projet de moteur LEAP-X du consortium CFM promet une réduction de consommation de 16% en 2016 par rapport à la dernière génération de CFM 56⁵¹. Le retour de Pratt & Whitney est également vu par les compagnies aériennes comme une source de concurrence donc de dynamisme technologique supplémentaire.

Les objectifs des programmes technologiques à 20 ans (par exemple ACARE 2020 lancé au début des années 2000) portent sur la réponse aux contraintes économiques et environnementales (réduction du bruit, de la consommation, des émissions de CO₂ et de NO_x). Les objectifs de réduction de la consommation sont à l'horizon 2020 de l'ordre de 20 à 25 %.

La réduction de la consommation des moteurs passe par l'optimisation de la combustion, mais aussi par une augmentation des taux de dilution qui peut aller jusqu'au concept de moteur ouvert (passage du turbo fan au moteur à hélices non carénées) Les pistes actuellement étudiées sont les suivantes :

- amélioration des codes de calcul
- sur la génération des gaz
 - o augmentation des pressions et des températures à l'entrée de la turbine (ce qui suppose de nouveaux matériaux),
 - o pré-mélange air-carburant,
 - o optimisation du mélange (approche du point stœchiométrique),
 - o allumage plasma,
- sur la transmission de la puissance
 - o pales contrarotatives
 - o réducteurs de forte puissance
- sur les matériaux
 - o introduction de nouveaux matériaux (Composites à Matrice Céramique...) sur les pièces mécaniques, les carters et arrières corps,
 - o utilisation de fans composites
- sur les sous-ensembles
 - o recours à des disques à aubes monoblocs.

Les architectures dites open rotor peuvent sur des distances relativement courtes être compétitives : moins 15% en vitesse mais sur seulement 15 à 20 minutes pour un vol d'une heure. Un des challenges pour ce type d'architecture sera d'atteindre les objectifs de réduction de bruit actuellement envisagés pour les turbo-fans.

Par ailleurs l'intérêt de ce type d'architecture en termes d'optimisation moteur sur avion reste à prouver.

Enfin, sur un plan économique et financier, **les revenus des motoristes sont, avec des facturations à l'heure de vol, de plus en plus dépendants**

⁵¹ La consommation d'un A320 reste aujourd'hui sensiblement la même qu'il y a 20 ans

de l'activité transport aérien et que ce modèle économique n'a pour le moment pas eu à résister à un véritable bas de cycle. La résilience de ce modèle économique à un tel scénario n'a donc pas été prouvée à ce jour.

3.5.3 Problématiques pour le futur

Malgré un système industriel coopératif assez verrouillé, de nouveaux entrants (issus des avions régionaux) pourraient entrer sur le marché des avions de moins de 250 places.

Le système industriel coopératif avec deux consortiums semble sur le segment des plus de 18000 livres de poussée être relativement verrouillé d'autant que le ticket d'entrée est très élevé. General Electric et Snecma ont annoncé en juillet 2008 avoir prolongé l'accord CFM jusqu'en 2040 pour tous les moteurs disposant d'une poussée comprise entre 18.000 et 50.000 livres (nouvelles architectures Open Rotor comprises). Du côté du consortium IAE la situation semble néanmoins plus confuse avec les initiatives unilatérales prises par Pratt & Whitney notamment avec son projet GTF⁵².

La faible présence de Snecma sur les parties chaudes constitue un risque non négligeable pour le motoriste français dans la mesure où il n'est pas certain que cette présence puisse être maintenue dans le futur par les programmes militaires. Les développements civils en cours (Silvercrest et SM 146) peuvent cependant diminuer ce risque.

Une dilution de la séparation entre avions régionaux et avions de plus de 100 places pourrait favoriser une entrée en douceur de nouveaux motoristes par une migration de la motorisation des avions régionaux vers celle des avions de moins de 250 places.

Des doutes subsistent sur le potentiel des nouvelles architectures Open Rotor pour les courts courriers. Pour le moment la démonstration de leur intérêt, notamment en termes de réduction de la consommation, n'a pas encore été faite⁵³. Par ailleurs, la configuration Open Rotor génère une vitesse de croisière plus faible qui peut limiter son intérêt pour les grandes compagnies qui utilisent les courts courriers pour alimenter leurs têtes de réseau. En effet, le temps de vol reste un critère important pour les vols en correspondance qui représentent 60% des voyages. La vitesse pourrait donc rester prépondérante sur ce segment. La réponse à la question de savoir si un seul type de moteur (Open Rotor ou non) équipera les « New Short Range » n'est à ce stade pas évidente.

La configuration Open Rotor ne semble de toute façon pas compatible avec des avions de plus de 150 places. Outre la question de la vitesse accessible, le diamètre de rotor trop important et le bruit généré semblent en effet poser pour ce type d'appareils des problèmes trop difficiles à résoudre. Cette problématique de différenciation de motorisation peut alimenter la problématique de la segmentation des avions sur le court courrier.

⁵² Geared Turbo Fan

⁵³ Les essais du GTF de Pratt & Whitney n'ont porté pour le moment que sur le réducteur sur un banc volant et non sur une véritable architecture open rotor intégrée.

La motorisation des moyens courriers devrait donc évoluer sans rupture. Pour les plus longs courriers, les nouveaux moteurs sont attendus vers 2017/2018.

La question d'éventuelles énergies alternatives pour le secteur du transport aérien ne peut être ici éludée. Le problème est de trouver un carburant ayant au moins la même efficacité énergétique, massique et volumique que le jet fuel⁵⁴. Par ailleurs, le carburant a d'autres fonctions ou caractéristiques qu'il devra toujours remplir : lubrifiant, point de congélation... En clair, il s'agira sans doute de faire du jet fuel synthétique avec un bilan carbone sur le cycle global de production et de consommation moins bon que celui du jet fuel actuel. Sur un plan industriel, la solution de remplacement semble devoir passer par les pétroliers qui doivent veiller à maintenir leur volume d'activité et leur marges et à être présent dans les solutions de remplacement⁵⁵.

3.6 Trains d'atterrissage

3.6.1 Situation actuelle

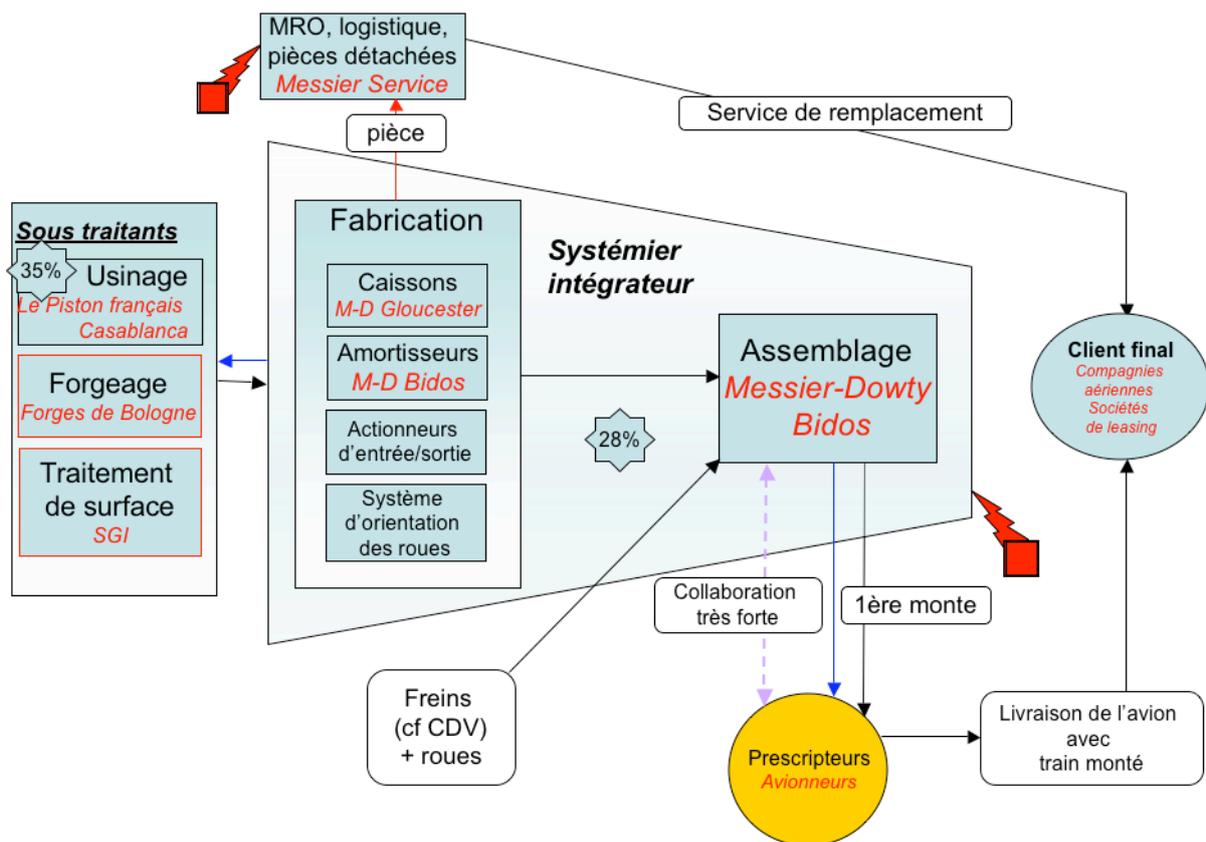
Le duopole Messier-Dowty – Goodrich pourrait être menacé par Liebherr.

L'offre de trains d'atterrissage dans les avions commerciaux est dans les mains d'un duopole avec la société Messier-Dowty (filiale de Safran) et l'américain Goodrich. Ces deux entreprises possèdent une gamme complète de trains d'atterrissage (train avant, train principal) et sont les deux principaux fournisseurs d'Airbus et de Boeing.

A moyen terme, la société **Liebherr**, très présente sur les trains d'atterrissage des avions régionaux et des jets d'affaires, aurait l'expertise suffisante pour déstabiliser le duopole existant sur les avions commerciaux.

⁵⁴ Dans le cas contraire on perd sur deux facteurs : masse à emporter et aérodynamique

⁵⁵ Actuellement les normes de certification imposent que le carburant utilisé soit un dérivé du pétrole



La collaboration avec l'avionneur reste très forte puisque le train d'atterrissage doit s'intégrer dans la structure de l'avion dont la conception est du ressort de l'avionneur. De plus, le train est un système complexe de sous-ensembles (amortisseurs, freins, pneumatiques ...) qui interagit fortement sur les performances de l'appareil (absorber de manière efficace l'énergie cinétique verticale lors de l'atterrissage, manœuvre au sol, escamotage du train en vol, transmission de l'effort de freinage...).

Les trains d'atterrissage génèrent une activité maintenance non négligeable (réparations ou échange nécessitant une immobilisation de 3 à 5 jours tous les 10 ans). Pour le groupe Safran par exemple, l'activité services représente 48% de l'activité totale train d'atterrissage. Le marché de la fourniture de pièces de rechange est un marché avec relativement peu d'acteurs (Lufthansa Technik, Messier-Dowty, Goodrich) pour la fourniture de rechange de trains complets⁵⁶. La disponibilité de ces trains complets conditionne dans certains cas la disponibilité de l'avion.

3.6.2 Evolutions en cours

Les évolutions en cours s'orientent vers des systèmes électriques qui réduisent la maintenance, et vers une réduction des masses (nouveaux alliages).

⁵⁶ Il s'agit ici de création de stocks de rechanges et non réellement de nouveaux acteurs dans les trains d'atterrissage

Le train d'atterrissage est impacté par les projets d'avion plus électrique pour les actionneurs. Ainsi, le remplacement des actionneurs hydrauliques par des actionneurs électriques devrait permettre des gains en termes de temps et coûts de maintenance ainsi que de masse.

Toujours dans un souci de réduction de masse, des travaux sont actuellement réalisés sur l'utilisation de nouveaux alliages plus légers et plus résistants ainsi que sur l'insertion de matériaux composites sur certaines parties des trains (jambe de force par exemple).

3.6.3 Problématiques pour le futur

Le risque pour les deux fabricants de trains d'atterrissage serait l'arrivée sur le marché d'un nouveau concurrent :

- Volonté de Liebherr de pénétrer le marché des avions de plus de 100 places ;
- Création d'un nouveau concurrent ex-nihilo issu par exemple du programme d'avion 100% chinois. Cette dernière hypothèse ne peut être totalement écartée à long terme⁵⁷.

En ce qui concerne le marché des pièces de rechanges et des services, les facteurs de ruptures portent sur deux points :

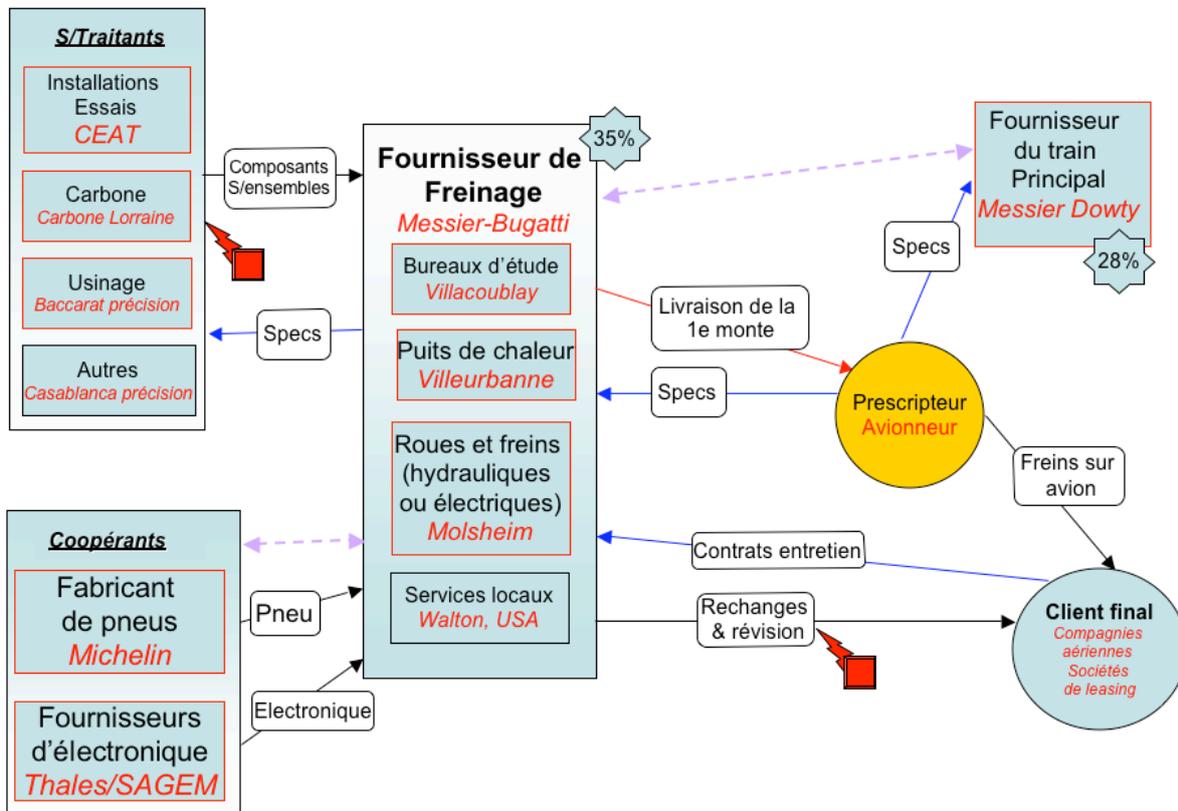
- Choix d'implantation déterminé par la proximité du client et la zone dollar ;
- Offensive d'EADS Revima sur la maintenance B777 et développement par Boeing Commercial Aviation Services de contrats assurant un service d'échange standard et d'entretien d'atterrisseurs pour ses avions. Cette nouvelle concurrence dans les services permet aux compagnies aériennes de bénéficier de plus de stocks à des prix moindres et contrecarrer ainsi les pénuries artificielles créées par les fabricants de pièces. Le contrôle de ce marché permettait jusqu'alors aux deux équipementiers du secteur de contrôler le marché à forte marge notamment des rechanges complets⁵⁸.

⁵⁷ On notera toutefois que Messier - Dowty a installé une usine de production en Chine à Suzhou.

⁵⁸ Le re-conditionnement complet d'un train demande de 8 à 10 semaines. La disponibilité de trains complets de rechange qui permet d'éviter une telle immobilisation de l'avion est donc stratégique pour les compagnies. A défaut elles sont soumises, sous la menace de cette immobilisation, aux coûts exorbitants des équipementiers qui font payer le prix de l'urgence.

3.7 Freins

3.7.1 Situation actuelle



Un concepteur de frein réalise un système complexe qui comprend les roues, les freins ainsi qu'un ensemble d'équipements électriques, mécaniques, hydrauliques et de calculateurs.

De plus, la fonction de freinage ne se limite pas au freinage mais inclut généralement l'anti-blocage, l'anti-dérapiage, ainsi que des fonctions complémentaires associées telles que l'orientation des roues (avant et, éventuellement principales), le contrôle et la surveillance des températures de freins et de la pression des pneus. La commande des séquences de sortie et de rentrée du train d'atterrissage peut se trouver elle-même intégrée dans ce système.

La technologie des freins carbone – carbone, actuellement la plus répandue dans l'aviation commerciale, s'est imposée à partir du début des années 1970.

Le dispositif de freinage est le plus souvent un équipement compagnie.

3.7.2 Evolutions en cours

L'évolution la plus récente est la commande électrique du freinage, en lieu et place du freinage hydraulique jusqu'alors universellement utilisé en aviation commerciale.

Avec les freins électriques, les équipements hydrauliques sont remplacés par des boîtiers électroniques et les pistons hydrauliques par des actionneurs électromécaniques.

Dans l'évolution vers « l'avion plus électrique » le freinage électrique a été introduit par Messier-Bugatti et Goodrich, sur le Boeing 787.

La technologie du frein électrique permettra également d'optimiser encore plus le freinage et l'utilisation de chaque frein en opération : meilleur temps de réponse, installation simplifiée sur les avions, meilleure capacité de diagnostic et maintenance des freins simplifiée. Cette technologie permet également un gain de masse notamment sur la partie génération et distribution de la puissance (économie sur les tuyauteries et le fluide hydrauliques).

3.7.3 Problématiques pour le futur

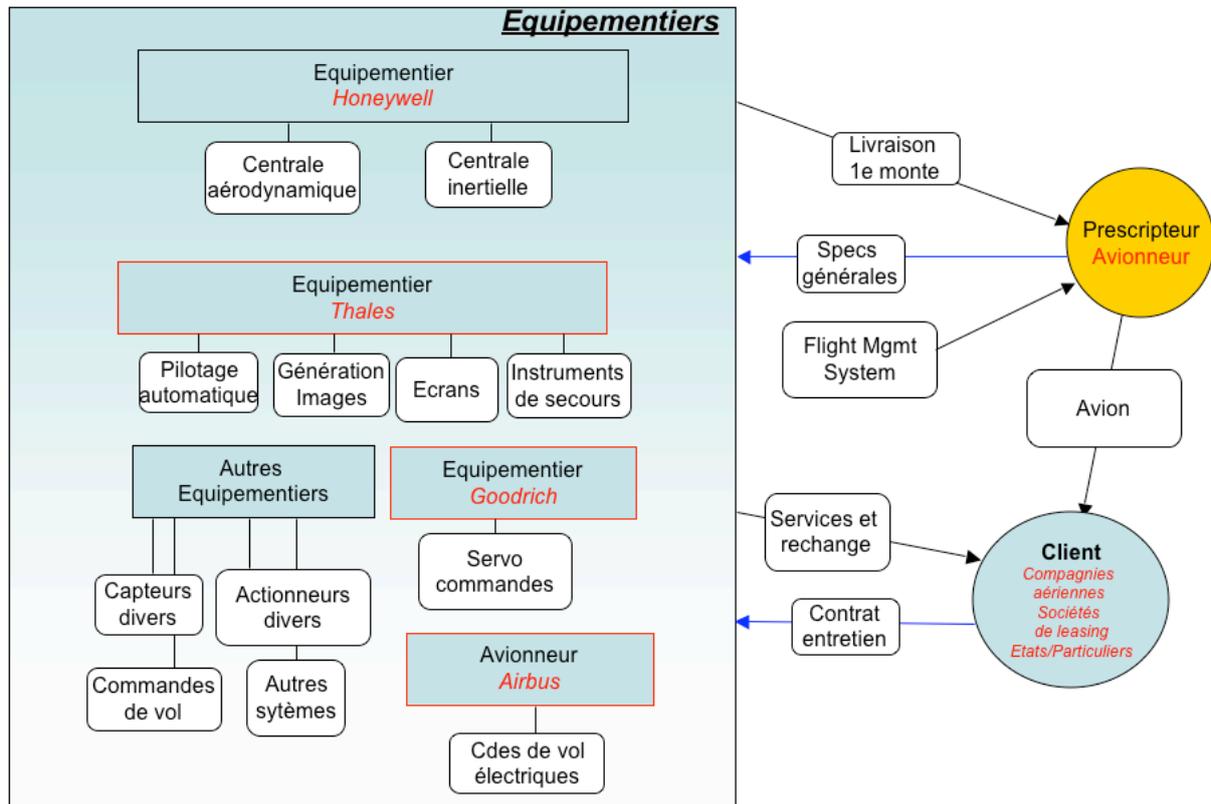
Le premier de Messier-Bugatti ou Goodrich qui aura mis au point le freinage par disques céramiques aura un avantage concurrentiel déterminant.

Les constructeurs étudient le remplacement des disques « carbone-carbone » par des disques en céramique, capable de tenir des températures plus élevées.

Le matériau le mieux approprié pour la fabrication des disques est le carbure de silicium, matériau très dur, résistant à l'abrasion. La résistance de ces disques est améliorée par l'incorporation de fibres de carbone. Il en résulte un coefficient de frottement très stable, peu sensible aux conditions météorologiques ou à l'échauffement.

3.8 Pilotage

3.8.1 Situation actuelle



La part avionique (électronique et informatique) représente de 30 à 35% des coûts de développement d'un avion commercial. Elle ne représente cependant que 10 à 15 % des coûts de fabrication⁵⁹. Les systèmes avioniques sont des systèmes électroniques ou informatiques qui assurent des fonctions variées comme le guidage, le pilotage, la gestion du fuel, les communications bord/sol, le contrôle moteur..

Le pilotage représente une partie importante de l'avionique (2 % du prix de vente d'un avion soit environ 20 % de l'avionique). Cette activité « pilotage » est caractérisée comme les autres activités « avionique » par des coûts de fabrication relativement faibles au regard des coûts de développement.

⁵⁹ En raison de l'automatisation de l'industrie électronique

3.8.2 Evolutions en cours

Vers une conception intégrée des systèmes pour gagner du poids et de la fiabilité.

L'évolution des technologies informatiques a permis le développement de l'avionique modulaire intégrée qui vise à l'utilisation de ressources partagées via un réseau de communication. Cette « Avionique Modulaire Intégrée » été graduellement mise en œuvre sur le Rafale, le Boeing 777, puis le Falcon 7X, l'A380, le Boeing 787 et le sera sur le futur A350. **Cette solution permet de faire face à l'augmentation des besoins de traitement par l'optimisation de l'emploi des ressources informatiques.** Elle permet également de contenir l'augmentation de la masse des matériels informatiques embarqués.

Cette conception conduit à concevoir un système intégré là où dans les errements antérieurs on achetait sur étagères des équipements dédiés chacun à une fonction.

Cette évolution architecturale conduit sur le plan industriel à des modifications sensibles de l'organisation :

- Elle revient à ramener, dans une architecture optimisée, des fonctionnalités qui étaient auparavant disséminées ;
- Ainsi sur l'A380, Airbus s'est réservé cette tâche d'architecte réseau ; La conception des modules avioniques étant répartie entre Airbus, Thales et Rockwell-Collins ;
- **Les équipementiers qui fournissaient auparavant les différents systèmes (contrôle commande ...) sous forme d'équipements physiques deviennent aujourd'hui des fournisseurs de logiciels d'application ;**

L'évolution technique a donc été accompagnée d'une évolution industrielle étroitement liée et pilotée par les trois industriels cités (Airbus, Thales et Rockwel-Collins)

3.8.3 Problématiques pour le futur

Pour le futur le FMS (Flight Management System) va devoir s'intégrer dans les projets de modernisation et d'automatisation de la gestion du contrôle aérien (ATM pour Air Traffic Management) tels que SESAR (en Europe) et NextGen (aux Etats-Unis) créant ainsi un véritable « Système de systèmes » où chaque système avion communiquera avec le système général. Certes nous avons abordé ici la seule question du pilotage (FCS pour Flight Control System) qui est à différencier de la fonction navigation (FMS), néanmoins via la conception avionique modulaire intégrée il y a un lien au plan industriel.

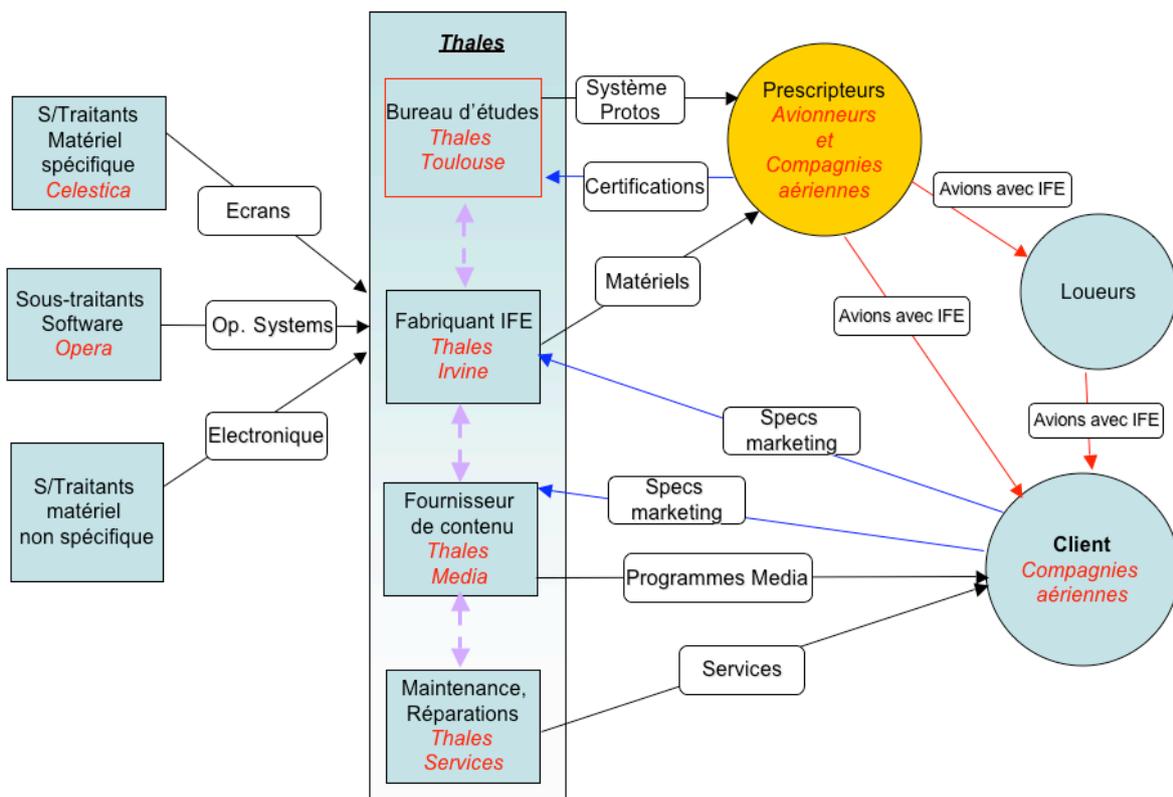
L'avion s'inscrira donc, dans le futur, dans un système plus large auquel les avionneurs et les équipementiers du pilotage ne peuvent être indifférents. Ainsi, Airbus et Boeing participent à l'évolution du contrôle

aérien pour la sûreté du trafic et la densification du trafic. La redistribution des tâches entre le maître d'œuvre, les équipementiers traditionnels aura inéluctablement des répercussions industrielles auxquelles les entreprises devront se confronter.

3.9 Divertissement à bord (DAB)

L'appellation anglaise In-Flight-Entertainment (IFE est parfois utilisée ici).

3.9.1 Situation actuelle



Les premiers « Divertissements de Bord » (In-Flight Entertainment) ont été le magazine de la Compagnie, puis de la musique au choix de chaque passager, et la diffusion de films sur quelques écrans pendus sous les coffres à bagage.

Plus récemment, l'offre des équipementiers s'est développée avec un écran plat intégré dans le siège de devant. Des dizaines de films et d'émissions de télévision sont désormais proposés, avec des jeux et autres applications (suivi du vol..).

L'utilisation du téléphone portable à bord est en expérimentation, la transmission de données et l'Internet devraient suivre.

La définition fonctionnelle des IFE est du ressort de la compagnie

aérienne cliente, les avionneurs refusent d'ailleurs de prendre des responsabilités dans ce domaine. **C'est aussi, avec les aménagements intérieurs, un des rares domaines de customisation et donc de différenciation pour les compagnies aériennes.**

Cependant, les technologies utilisées ne sont pas stabilisées pour les réseaux et encore moins pour les terminaux. Pour les réseaux la transmission sans fil ne réussit pas à s'imposer pour des questions réglementaires spécifiques à chaque pays (disponibilité des fréquences)... Il s'agit de technologies à cycles extrêmement courts sur les terminaux. Par ailleurs les coûts de transition technologiques de l'IFE obèrent le coût de « re marketing » des avions.

La fonction DAB représente actuellement une masse d'environ 5 tonnes sur un avion long courrier ce qui génère un surcoût carburant qui dorénavant ne peut plus être négligé.

Sur le plan industriel, Rockwell-Collins s'est retiré du marché des A380 et B787. **Les seuls fournisseurs sont désormais Thales et Panasonic (Matsushita). Leurs solutions réseaux ne sont pas compatibles entre elles.**

3.9.2 Evolutions en cours

Ces réseaux de bord sont complexes, lourds et posent des problèmes d'adaptation. Les compagnies peuvent également se sentir prisonnières de systèmes propriétaires.

La solution idéale pour les compagnies serait de réussir à imposer un standard, le sans fil et l'utilisation des appareils nomades des passagers.

3.9.3 Problématiques pour le futur

La situation n'est pas stabilisée, et il n'est pas sûr que l'activité se révèle à terme aussi prometteuse :

- Compte tenu de la consommation de carburant qu'elle induit, elle pourrait être vraiment réservée aux avions longs courriers ;
- Le déploiement du système pourrait avec le sans fil, être relativement limité ;
- Il pourrait également être pris en compte dans l'avionique modulaire intégrée⁶⁰ et ne plus être traité à part.
-

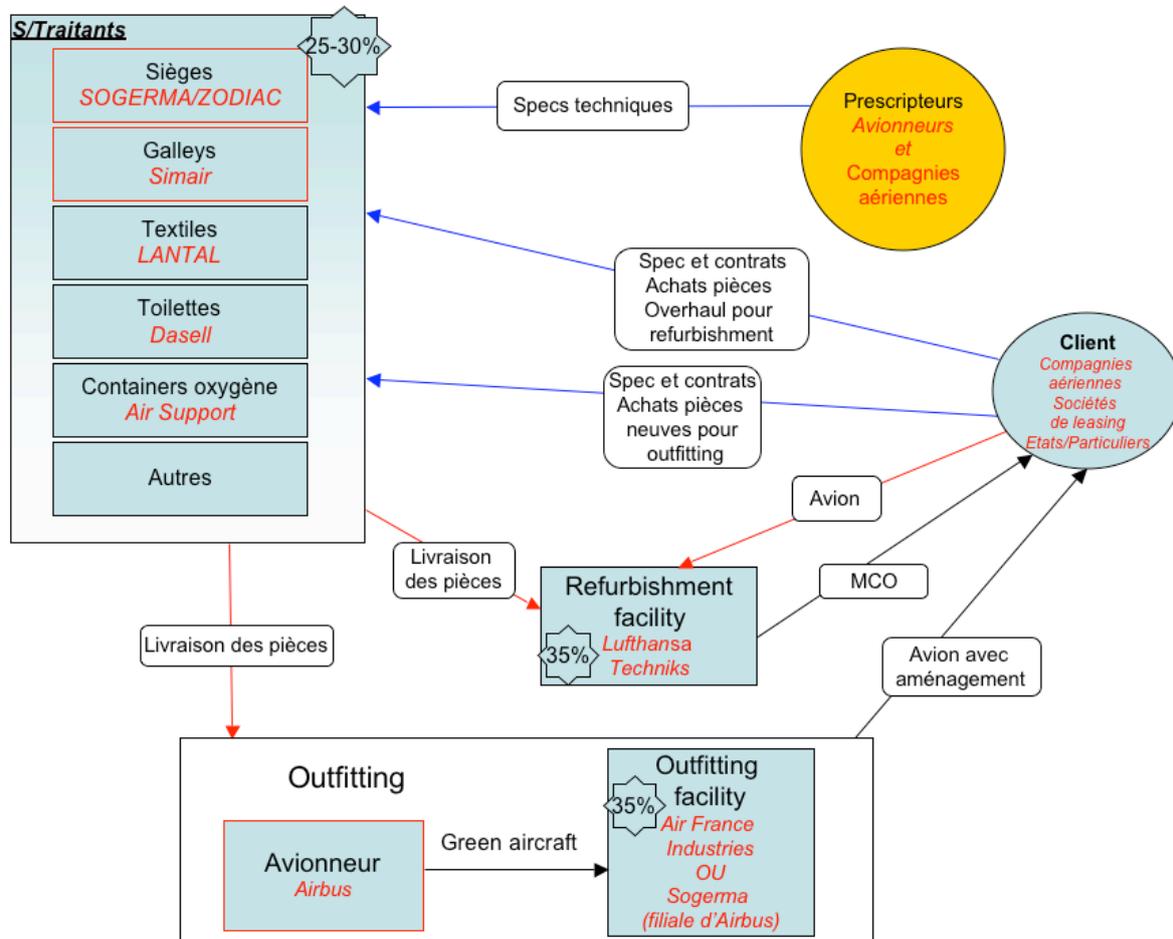
Pour un acteur de l'avionique modulaire, il peut néanmoins être important d'être présent sur ses systèmes pour grignoter des positions sur l'avionique en général.

⁶⁰ Cela semble être déjà partiellement le cas sur le B787

3.10 Aménagements intérieurs

3.10.1 Situation actuelle

La compagnie aérienne impose son image à travers les aménagements intérieurs



Les compagnies aériennes cherchent à se différencier notamment par la qualité des aménagements intérieurs (confort, design, choix des couleurs...).

Les grandes compagnies aériennes traditionnelles en particulier restent relativement maître d'œuvre des aménagements intérieurs. Ceci s'explique par différentes contraintes et notamment celle de **disposer d'une homogénéité de présentation (le style de la compagnie)** et celle de **standardiser les équipements intérieurs** des avions d'une flotte qui ne proviennent pas forcément du même constructeur.

Les grandes compagnies aériennes passent donc des contrats avec des industriels spécialisés dans une partie de l'aménagement intérieur des avions (toilettes, textiles, sièges, etc.). Ces industriels sont certifiés aux normes de l'industrie aéronautique et suivent les prescriptions des avionneurs. Néanmoins, ce sont les grandes compagnies aériennes qui les sélectionnent et contractualisent en final.

L'avionneur intervient cependant au moins pour les interfaces techniques (par exemple les attaches des sièges et donc les configurations cabine ou encore les toilettes). L'avionneur peut également pour des compagnies récentes ou low cost assumer toutes les responsabilités de cette activité aménagements intérieurs. Sur les avions longs courriers, la définition des aménagements intérieurs est de toute façon un élément important de marketing pour le constructeur.

Les fournisseurs confie le plus souvent le montage de leur équipement à bord à un sous-traitant (outfitting facility) qui prend en charge le montage de ces aménagements sur l'avion livré « green » par l'avionneur c'est-à-dire sans l'aménagement. Ce sous-traitant peut être une filiale d'Airbus (comme Sogerma), une filiale de maintenance de compagnie aérienne (comme Air France Industries ou Lufthansa Technics, les deux plus grosses sur le marché actuel européen) ou encore une société dédiée à ce type d'opérations.

Un des problèmes pour les compagnies aériennes est lié à un cycle de vie des aménagements intérieurs (habillage des sièges par exemple) deux fois plus court que celui des grandes visites des avions. La difficulté est de synchroniser les modifications correspondantes en opération.

5.10.2 Evolutions en cours

Le développement de l'overhaul (remplacement par un équipement réparé ou mis à jour) entraîne un changement de l'organisation des fournisseurs : ceux-ci doivent développer en plus de leurs capacités de production des capacités de services (gestion du stock expédition, suivi de configuration pour le compte de la compagnie..)

Une nouvelle stratégie de la part des avionneurs (par exemple Boeing avec la création de la dream gallery) consiste à proposer aux compagnies aériennes un panel de fournisseurs pré sélectionnés. Dans ce cas, les fournisseurs d'aménagements intérieurs n'ont plus le contact avec le client final et l'avionneur développe un service (pré-sélection des fournisseurs, concentration des achats).

3.10.2 *Problématiques pour le futur*

L'activité aménagements intérieurs est une activité répartie entre les compagnies aériennes, les avionneurs et une somme de sociétés souvent de petite taille. Les frontières de cette organisation industrielle sont en train de changer sous la pression des avionneurs, avec l'apparition de nouvelles compagnies aériennes qui ne veulent pas investir en propre dans cette activité. Ceci modifie le contact du tissu industriel, souvent à base de PME, avec le client final.

Cette activité est pour une bonne partie une activité de main d'œuvre et elle est facile à délocaliser⁶¹.

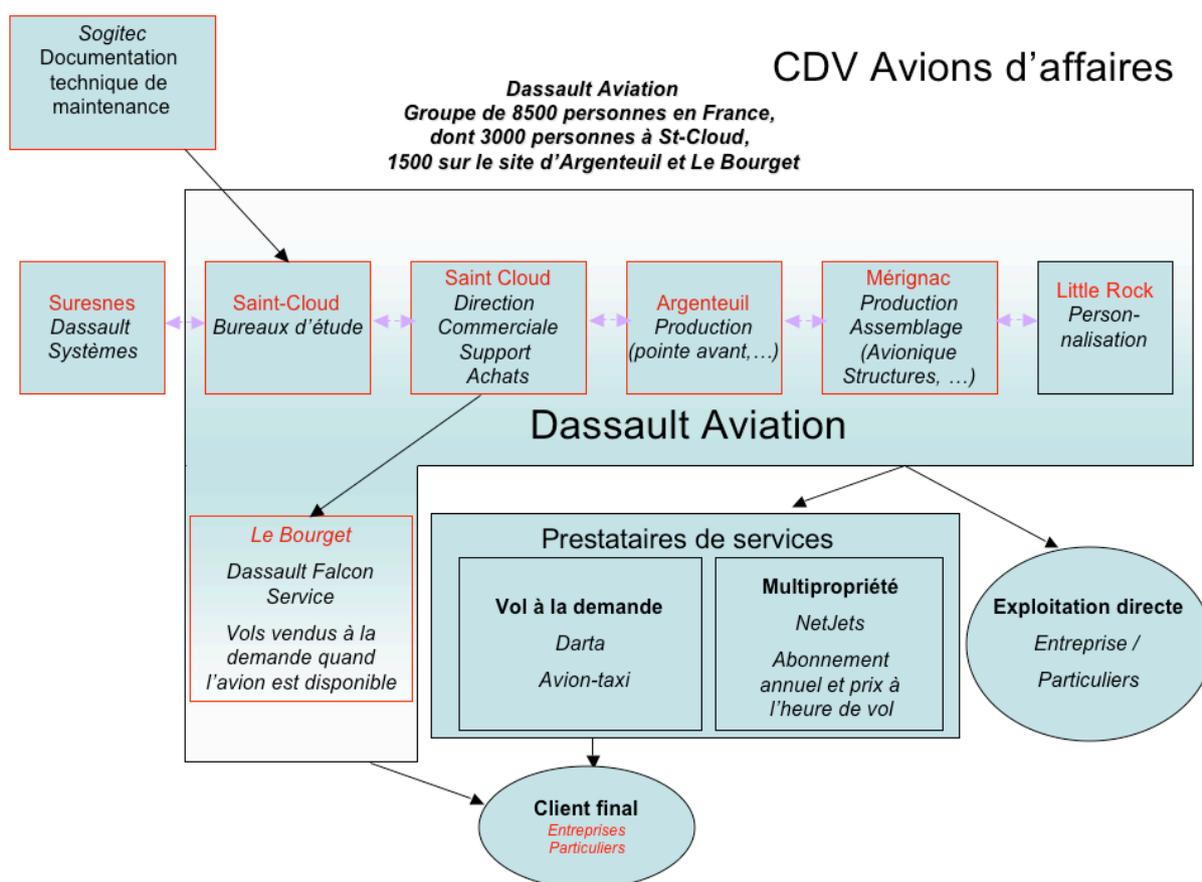
⁶¹ Comme le montre l'exemple de l'aménagement intérieurs des avions d'affaires.

4 Chaînes de valeurs régionales

Les 12 CDV nationales ayant couvert la quasi totalité des chaînes de valeur « verticales », il fut choisi d'étudier des chaînes de valeur « transversales » pour l'étude de la région Ile de France. Voici les CDV retenues après le second comité de pilotage pour la région Ile-de-France :

CDV Régionales	Commentaires
Avions d'affaires	Présence de Dassault Aviation
Mécanique	Délocalisation graduelle
Maintenance	Présence d'Air France Industries

4.1 Avions d'affaires



Dassault Aviation a une forte implantation historique dans la région parisienne, cette implantation reste pertinente en raison de la proximité des services officiels clients des avions militaires.

Après l'absorption de Bréguet Aviation, une réorganisation progressive a amené à la rénovation du site historique de Saint-Cloud et à la spécialisation des établissements de province. L'activité avions d'affaires constitue

actuellement l'essentiel de l'activité de la société. L'analyse suivante porte sur le Falcon 7X qui représente l'aboutissement de l'évolution de l'organisation de Dassault Aviation.

La répartition géographique des activités est la suivante :

Ile-de-France :

- Saint-Cloud : siège, les études, les services commerciaux et après-vente, ainsi que les directions « fonctionnelles » ;
- Argenteuil, la fabrication des fuselages avant des Falcon » ;
- Le Bourget avec Dassault Falcon Service : chargée de l'entretien et de la gestion des flottes qui lui sont confiées par les clients ;

Nord-Pas-de-Calais

- Seclin (59) : Fabrication des pièces primaires

Provence-Côte d'Azur :

- Istres (13) : Essais en vol

Rhône-Alpes :

- Argonay (74) : Division Dassault Equipements, spécialisée dans la fabrication des commandes de vol

Aquitaine :

- Biarritz (64) : Dérive en composites, assemblage des tronçons de fuselage,
- Martignas (33) : Voilures
- Mérignac (33) : Assemblage final et vols de réception.

Par ailleurs, 27 partenaires participent au programme Falcon 7X :

France : Aircelle (une partie des nacelles et l'inverseur de poussée sous maîtrise d'œuvre PWC), EADS SOCATA (tronçon supérieur central), ECE (éclairage), Latécoère (tronçon du fuselage arrière), Intertechnique (circulation et jaugeage carburant), Latélec (câblage), Le Bozec (Filtration), L'Hotelier (détection incendie), MPC (Manettes de gaz), Sogitec (documentation technique de maintenance), SPS (vitres), Michelin (pneus) ;

Autres en Europe : EADS CASA (empennage horizontal), Messier-Dowty (train d'atterrissage), SONACA (bords d'attaque et becs), Stork (volets et aérofreins), Liebherr (pré échangeurs) ;

Etats-Unis : ABCS (système de freinage et roues), ACCS (système anti-collision), Goodrich (génération électrique et anémomètre), Honeywell (avionique intégrée), Parker (système hydraulique), Pratt & Withney Canada (moteurs, inverseur de poussée, nacelles), Rockwell-Collins (visualisation tête haute).

La personnalisation de l'avion en fonction des besoins des clients est faite à Little Rock (Arkansas), avec un deuxième prestataire Jet Aviation à Bâle.

Il est à noter que tous les clients du programme avaient à la mi 2008 souscrit aux contrats de maintenance avion avec Dassault Aviation et aux contrats de maintenance moteurs avec le motoriste.

En 2007, Dassault a reçu, tous modèles confondus, 212 commandes de 168 clients différents, selon la répartition suivante :

- Grandes entreprises plus de 50 %

- Clients Individuels 25%
- Moyennes entreprises 16 %
- Gouvernements marginal

L'expérience précédente des clients est un indicateur intéressant :

- Remplacement d'un Falcon 33 %
- Remplacement d'un concurrent 25 %
- Premier avion 25 %
- Croissance de flotte Le reste

Enfin, il faut noter que la flotte en service du « haut de gamme » type 7X se répartit en trois tiers à peu près équivalents entre Gulfstream, Bombardier et Dassault. Le marché des Etats-Unis n'est plus le marché principal, la répartition géographique du marché est aujourd'hui la suivante :

- Etats-Unis 25 %
- Canada & Mexique 15 %
- Continent européen et Asie 60 %

Le potentiel des avions est de 20 000 cycles (décollage & atterrissage). Avec un temps de vol moyen de 2 heures l'avion dispose d'un potentiel de 40 000 heures. On constate que les petites flottes volent en moyenne 300 heures par an, alors que les avions en multipropriété volent plutôt 1 200 heures par an. Par comparaison, les avions de ligne volent 3 000 h/an pour les court-courriers et plus de 4 000 h/an pour les long-courriers.

En forme de conclusion, la présence de Dassault Aviation en Ile-de-France tient à des raisons historiques et à la présence des services de programmes correspondants du ministère de la défense voire de ceux du ministère chargés des transports (DPAC). Il ne faut pas non plus oublier que Le Bourget est le premier aéroport en Europe pour l'aviation d'affaires.

L'activité de Dassault Aviation en Ile-de-France est centrée sur :

- Les activités de siège social et de direction ;
- Les activités de bureau d'études ;
- Les activités de services et de maintenance.

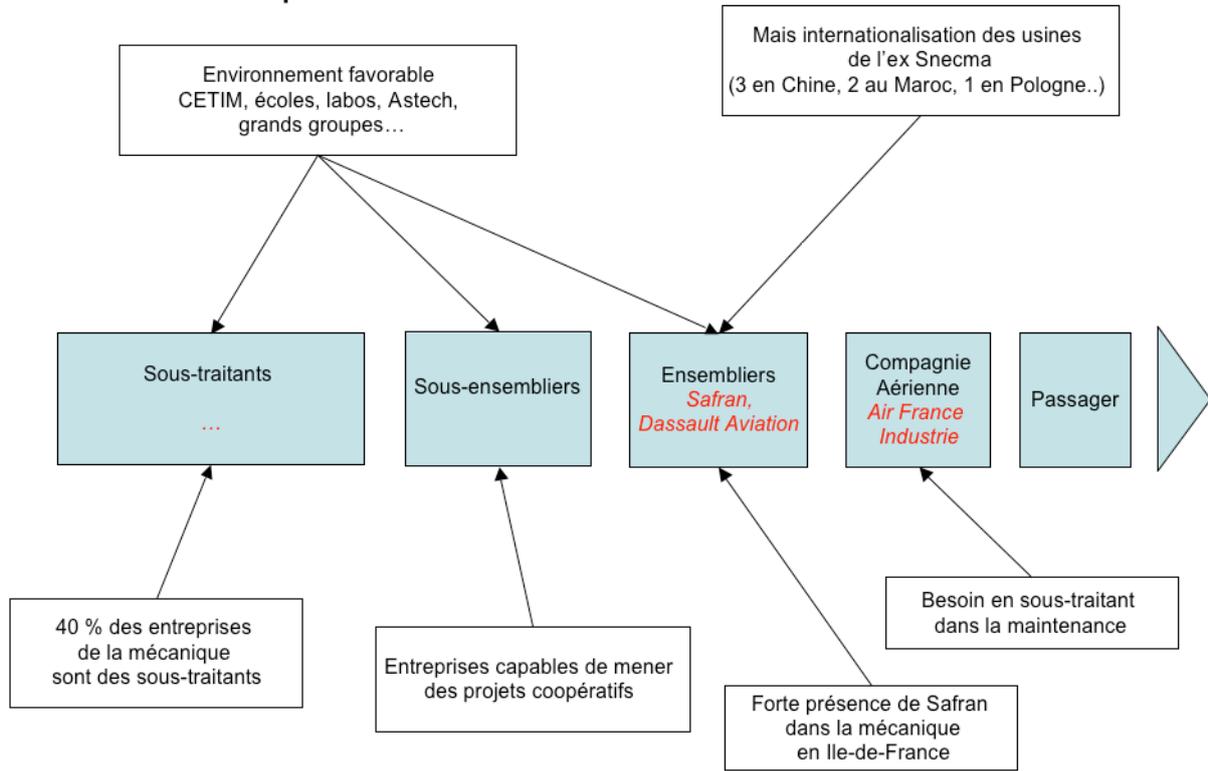
Les effectifs en Ile-de-France représentent un peu moins de la moitié des effectifs France.

Les grandes questions stratégiques sur ce segment sont les suivantes :

- Quelle influence aura le prix du pétrole sur l'activité aviation d'affaires ?
- A quand la fin du cycle de croissance ?
- Les riverains du Bourget seront-ils plus exigeants sur la diminution des nuisances sonores ?
- Le développement rapide des VLJ (Very Light Jets) va-t-il créer une concurrence pour les acteurs en place ?

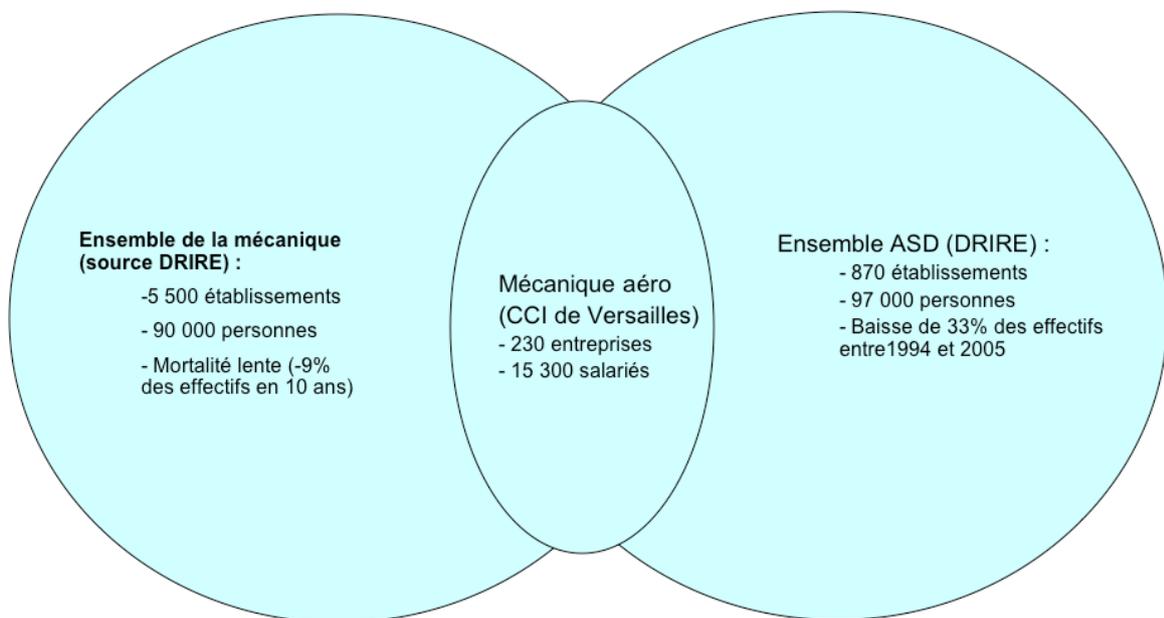
4.2 Mécanique

CDV Mécanique Ile-de-France



Le secteur de l'industrie mécanique en Ile-de-France est estimé à 230 entreprises et 15 000 employés.

La CDV mécanique en Ile-de-France



Ce secteur mécanique et aéronautique a été soumis à deux phénomènes qui ont réduit ses effectifs :

- la réduction de l'activité dans le secteur aéronautique et spatial dans les années 90 notamment ;
- la réduction générale de l'activité mécanique en Ile-de-France.

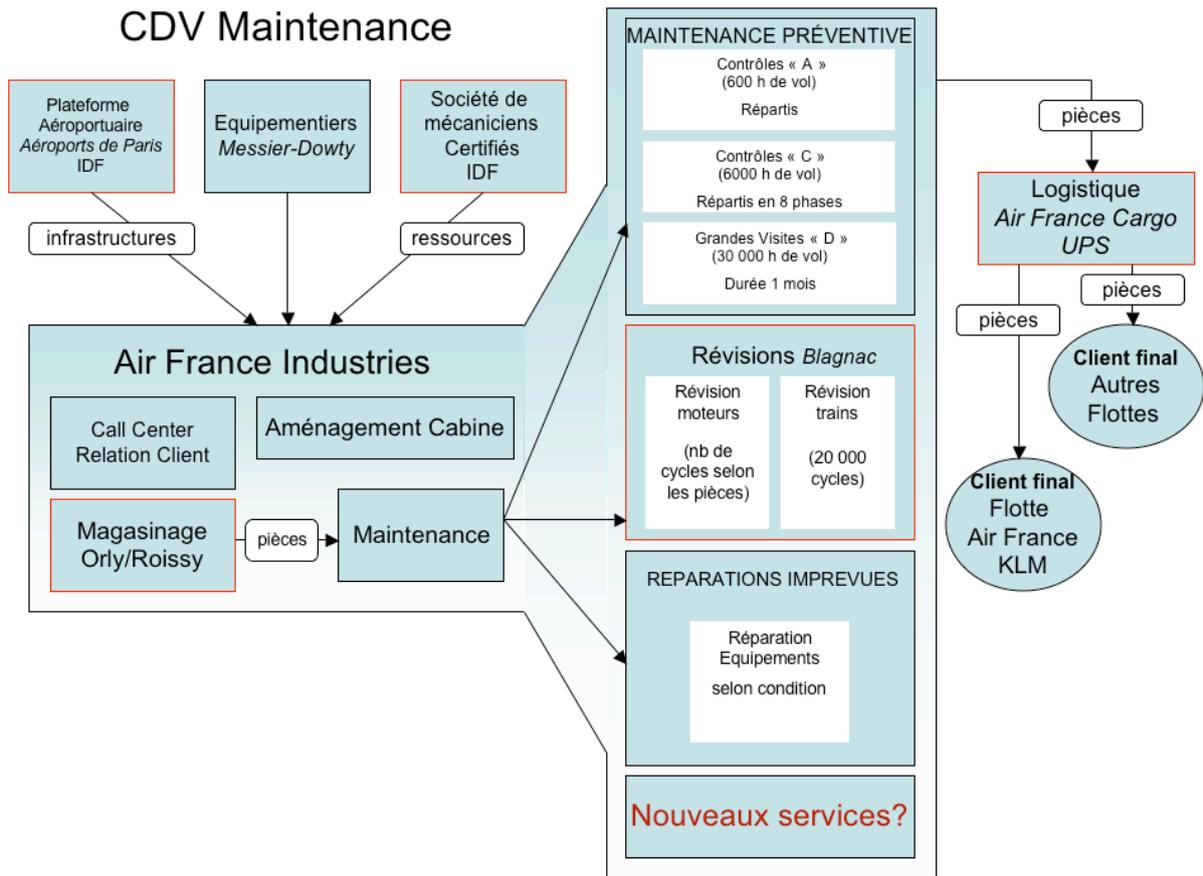
L'ancrage territorial est lié à :

- La présence des maîtres d'œuvre (25% des effectifs de l'aéronautique) ;
- Les synergies entre plusieurs secteurs : aéronautique, automobile, pharmacie, électricité...
- La présence et actions de nombreuses structures actives sur le secteur de la mécanique : CETIM, CCIV, DRIRE, écoles, laboratoires ...

Ce secteur est cependant confronté en Ile-de-France à un certain nombre de difficultés :

- Recrutement des jeunes (déficit d'image et manque de formations initiales)
- Résistance des PME à la délocalisation des grands groupes
- Difficulté d'appropriation par les PME des règlements et normes (ISO 9100, NADCAP, Reach ...)
- Difficulté d'adaptation des sous-traitants « métier » aux nouvelles technologies (plus électrique et composites)

4.3 Maintenance



La maintenance (Air France Industries) est le troisième métier d’Air France, après le transport des passagers et le fret. Le chiffre d’affaires d’AFI est de 2,9 Md€, dont environ 30 % avec des clients extérieurs au Groupe. Le stock de rechange est de l’ordre de 1,2 Md€. AFI emploie environ 9 000 personnes dont 500 à Toulouse.

La maintenance se décompose en trois grands types : Cellules, Moteurs et Équipements. La répartition de la maintenance par type d’équipement pour deux types d’avion (court courrier et long courrier) est donnée dans le tableau ci après.

Répartition de la maintenance

	2006 - 2007		2007 - 2008	
	A320	B777	A320	B777
Exploitation	39,5 %	40,9 %	43,1 %	41,3 %
Equipements	18,9 %	14,6 %	18,3 %	14,2 %
FTR	3,8 %	0,5 %	4,1 %	0,4 %
Moteurs	25,2 %	38,7 %	23,1 %	39,2 %
Atterrisseurs	0,7 %	0,0 %	0,9 %	0,3 %
Petites modifications	0,7 %	1,0 %	0,7 %	1,4 %
Grandes visites	11,2 %	4,2 %	9,7 %	3,2 %

La ventilation de la maintenance est donnée pour le schéma organisationnel d'AFI :

- Exploitation : recouvre l'ingénierie (établissement du programme d'entretien, suivi des machines, opérations journalières jusqu'au niveau C c'est-à-dire arrêt de moins d'une semaine). Les éléments sont changés mais la réparation des éléments n'est pas prise en compte ;
- Equipements : recouvre la réparation en atelier des éléments débarqués ;
- FTR : recouvre la réparation des nacelles et des inverseurs de poussée (Fan Thrust Reverser)
- Le poste grandes visites recouvre essentiellement les interventions sur la cellule et les aménagements intérieurs (il y a eu un changement des aménagements sur le B777).

Les différences s'expliquent par entre A320 et B777 s'expliquent par :

- Le type d'exploitation : par exemple plus d'atterrissage sur le court courrier (A320) que sur le long courrier (B777) ;
- L'âge moyen de la flotte concernée.

L'évolution de la flotte d'Air France maintenue par AFI est la suivante :

- Les Boeing 747- 200, -200F et -300 sont retirés du service. Les versions 400 et 400F suivront ;
- Les A330 et A340 suivront par attrition naturelle durant la prochaine décennie ;
- Le fret sera assuré par les B747-400ERF puis par les B777-200F ;
- La flotte pour le trafic des passagers et des longs courriers sera donc constituée de B777-200ER et 300ER, B747-400, A340/330 puis A380 avant les B787 et A350 ;
- La flotte des moyens courriers est entièrement de la famille A320.

La maintenance des cellules

Les travaux courants en escale parisienne (jusqu'au niveau Check A) sont effectués par la division Exploitation. Les travaux précédemment désignés Check B ont pratiquement disparus.

Les Check C (interventions chantier en hangar survenant tous le 18 mois ou 2 ans) ont tendance à être moins consommateurs de main d'œuvre avec les nouvelles générations d'appareils.

Les Check D (dites grandes visites ou maintenance lourde) sont réalisées tous les 5 à 6 ans. Pour le Boeing 747 elles nécessitent plus de 50.000 heures de travail et une durée de 4 à 6 semaines, elles sont dorénavant sous-traitées.

TAECO, à Xiamen est un des leaders des interventions sur B747. Haeco (SWIRE Grp), Boeing et Japan Airlines en sont les actionnaires. Son taux horaire à la vente est de 45 \$. Aucun européen, avec un taux horaire interne typique entre 70 et 100 €, ne peut le concurrencer, en particulier pour les longs courriers pour lesquels les coûts de convoyage sont relativement moins importants.

Pour les avions de génération plus récente le bilan main d'œuvre plus favorable et l'autonomie stratégique du groupe nécessite de réaliser ces visites en interne.

AFI constate donc une forte chute de charge dans ce domaine, qui coïncide avec une importante attrition de l'effectif (global et pas forcément dans ce secteur particulier) due aux départs à la retraite.

La maintenance des moteurs

La première monte étant pratiquement gratuite, **les motoristes basent leurs recettes sur les pièces détachées et l'après vente**. Ils proposent des contrats d'entretien à l'heure de vol au moment du choix de la motorisation.

Les coûts de révision des moteurs sont constitués de main d'œuvre pour 20 à 25 % et de pièces et matières pour 75 à 80 %. Les technologies sont plus sophistiquées et des investissements importants sont nécessaires.

Ce secteur est en croissance mais reste dominé par les constructeurs.

La maintenance des équipements

AFI privilégie une offre complète de services, couvrant l'ensemble des équipements d'un modèle d'avion et qui comprend, outre la réparation :

- Les stocks ;
- L'intégration de technologies différentes ;
- Une logistique efficace ;
- Une bonne connaissance des besoins des utilisateurs.

Le seuil de rentabilité pour ce type d'opération est passé de 20 avions dans les anciennes technologies à une fourchette 40 / 60 avions pour les nouvelles générations.

AFI possède un parc de bancs d'essais automatiques ATEC et écrit des programmes en sous-traitance d'EADS pour ses propres types de flotte et

pour d'autres.

D'une façon générale, l'entretien d'équipements représente en atelier 50 % de main d'œuvre et 50 % de pièces et matières, les coûts logistiques étant en sus.

AFI a pris une participation dans Aero Maintenance Group, basé à Miami, et lui sous-traite des contrats libellés en dollars principalement pour des clients de la zone américaines.

Activité maintenance Boeing 777

Un accord de coopération a été conclu entre Boeing et AFI, dont les points principaux sont :

- Mise en place d'un stock commun ;
- AFI est en charge de toutes les réparations, à l'exception des équipements de propriété intellectuelle Boeing, qui les entretient lui-même.
- AFI est le gestionnaire opérationnel. ;

120 machines sont actuellement gérées dans ce cadre de cet accord contrat qui génère un chiffre d'affaires annuel de 40 M€ (investissement de 80 M\$).

Le futur et la concurrence des avionneurs

L'offre de services intégrés de la part des constructeurs se développe notamment pour l'A350 et le B787.

Ainsi, Boeing offre un programme complet de soutien baptisé Gold Care. Un seul client l'aurait adopté actuellement pour le B787.

De son côté, Airbus propose des services identiques pour l'A380.

AFI et LH se sont associés pour concurrencer ces solutions de maintenance des avionneurs. Ils ont créé une filiale commune de gestion de service dénommée Spairliners.

La concurrence des autres acteurs de la maintenance

Avec un CA de 3,57 Md€, LufthansaTechnik (LHT), leader du marché MRO (Maintenance, Repair & Overhaul) a développé de nombreuses capacités en Europe et en Asie.

On peut également constater un fort drainage de compétences vers les pays du Golfe. Un groupe d'investisseurs des Emirats Arabes Unis (Mubadala Development, Dubai Aerospace Enterprise (DAE) and Istithmar) a pris le contrôle de SR Technics, qui avait lui-même repris FLS Aerospace en 2004, et qui propose maintenant des solutions intégrées :

- Integrated Airline Solutions (IAS),
- Integrated Component Solutions (ICS)
- Integrated Engine Solutions (IES).

Les plus petites entités, telles que Sabena ou SOGERMA auront un avenir difficile.

La problématique de l'ancrage territorial de l'activité maintenance en Ile-de-France peut être résumée de la façon suivante :

- Air France Industries emploie 8.500 personnes en Ile-de-France ;
- Son chiffre d'affaires est de 2,9 Md€, dont 30 % avec des clients extérieurs au Groupe ;
- L'activité de maintenance c'est aussi celle de l'aviation d'affaires qui emploie environ 5.000 personnes au Bourget. La localisation de la maintenance d'Air France près de l'aéroport CDG est pérenne ;
- La flotte d'avions d'affaires et d'hélicoptères basée en Ile-de-France justifie une forte implantation locale ;
- Les risques de délocalisation vers des aéroports de province proposant des coûts plus compétitifs ne peuvent cependant être totalement ignorés ;
- La formation de « mécaniciens avions » est-elle suffisante pour soutenir la croissance ?
- La concurrence des constructeurs d'avions et d'hélicoptères avec des contrats de service complet aura-t-elle une influence sur la localisation ?

Essai de conclusion (à partir de la proposition initiale)

L'industrie aéronautique est une industrie à long cycle caractérisée :

- par une durée de vie des produits supérieure à 20 ans et des retours sur investissement assez longs voire potentiellement problématiques⁶².
- par le niveau élevé des risques technologiques, industriels et commerciaux liés au lancement des programmes. Un problème sur un programme peut mettre en danger la solidité financière du groupe d'appartenance et également celle des partenaires qui partagent les risques. Dans un contexte national, cette industrie a longtemps été étroitement liée au secteur de l'armement. Les Etats peuvent encore conserver un regard particulier notamment sur le contrôle des groupes d'appartenance. Cette caractéristique n'est pas totalement neutre quant aux possibilités de financement des technologies et d'accès aux marchés financiers.

Le secteur aéronautique doit concilier des éléments contradictoires :

- libéralisation du marché du transport aérien / concurrence accrue / caractère national persistant des industries aéronautiques ;
- pression sur les prix / prise de risque au lancement des programmes ;
- mondialisation / sources de financement / caractère national persistant des industries aéronautiques ;
- pour les Européens des coûts en euros et des ventes en dollars ;

Globalement, le système productif de l'industrie aérospatiale n'a pas connu les révolutions (production de masse, automatisation, mondialisation de la production) vécues par d'autres industries comme celle de l'automobile. L'industrie aéronautique se caractérise par une structure à plusieurs niveaux, faisant intervenir de grands ensembliers (avionneurs et motoristes), des équipementiers, de nombreux sous-traitants et fournisseurs. Cette structure s'intègre dans un marché concentré, de professionnels fortement prescripteurs (les compagnies aériennes et les militaires) et comprenant un fort volume de services associés sur certains équipements.

Les grands industriels du secteur ont achevé une phase d'intégration et de rationalisation (sous la houlette d'EADS et de Boeing notamment). Cependant cette industrie à fort contenu technologique et stratégique attire de nouveaux acteurs et de nouveaux pays.

Airbus et Boeing veulent aujourd'hui réduire le nombre de leurs fournisseurs tout en leur imposant de forts objectifs de réduction de prix. La hiérarchisation de la filière va donc se renforcer. Les sous-traitants des différents niveaux doivent accompagner ce mouvement et s'organiser en conséquence, en particulier au niveau géographique.

Le fonctionnement sous le modèle de « l'entreprise étendue » s'est développé

⁶² Exemples de l'A340 et de l'A380

graduellement depuis une vingtaine d'années afin d'accélérer et de fiabiliser les échanges d'informations techniques, commerciales et de gestion de production. L'objectif est d'aboutir au fonctionnement le plus "fluide" possible, tout en protégeant les données confidentielles de chacun, comme si le fournisseur était une "extension" de son client.

Enfin, le **facteur temps** sera pris en compte. Les évolutions ne suivent pas toutes le même rythme comme indiqué dans les quelques exemples qui suivent :

Evénement	Effet
Annulations de commandes et baisse brutale des livraisons (scénario de crise)	Effet brutal à court terme
Bas de cycle dans l'industrie aéronautique	Non prévu à horizon de 20 ans par les avionneurs mais néanmoins à étudier
Lancement de technologies nouvelles	Favorise une redistribution progressive des fournisseurs à long terme en fonction de l'introduction de ces technologies sur les programmes Favorise l'arrivée de nouveaux entrants
Lancement de programmes nouveaux	Effet immédiat sur les bureaux d'études Positionnement à court terme des fournisseurs sur les appels d'offre Effet progressif à long terme sur la production des fournisseurs en liaison avec la montée en puissance des livraisons
Lancement d'un plan d'adaptation avionneur	Effet à court terme sur la société concernée La déclinaison sur les fournisseurs est sensiblement décalée dans le temps
...	...

DECISION pense donc que les scénarii ne peuvent pas seulement s'exprimer en termes de rythme de production. La nature des scénarii est également importante quant au type d'acteurs concernés, aux perturbations provoquées dans l'industrie et donc quant aux mesures d'adaptation à mettre en évidence en phase 2.

La France et l'Europe demeurent des acteurs de tout premier plan. Cette présence essentielle ne peut être maintenue que si l'industrie aéronautique dans son ensemble continue ses efforts en recherche et développement dans de nouvelles technologies afin de d'accroître sa compétitivité et consolider sa place sur le marché mondial. Annexes

5 Annexes

5.1 Note sur l'évolutionnisme et sur l'analyse du changement

Bernard Paulré
Matisse-ISYS
Université Paris 1 Panthéon Sorbonne

La notion d'écosystème

Dans son ouvrage *The death of competition*⁶³ publié en 1997, James Moore considère que dans le monde contemporain la façon de concevoir les frontières des secteurs ou des industries ne sont pas pertinentes, parce que les métiers et les activités productives sont comme des organismes co-évolutifs dont l'évolution, difficilement prévisible, se déroule dans le contexte d'un écosystème constamment changeant que personne ne contrôle. L'univers industriel d'une activité est très vaste. La concurrence continue à y exister mais se manifeste non pas entre les biens proposés par des firmes individuelles, mais entre des écosystèmes. Que l'on songe à la concurrence entre Apple et Dell : la concurrence va au-delà de deux produits matériels. Ce sont deux univers et deux conceptions de l'informatique, voire deux langues, qui s'opposent. Dans le domaine automobile, l'univers Renault n'est pas le même que l'univers BMW. Et si l'on achète un modèle dans l'une de ces gammes, ce n'est pas uniquement une automobile que l'on achète. On adhère aussi à un ensemble de services et à une logique technique, commerciale et même financière.

Pour Moore, un *business ecosystem* est une communauté technico-économique reposant sur un ensemble d'organisations et d'individus en interaction. Cette communauté rassemble les fournisseurs, les producteurs, les concurrents ainsi que d'autres parties prenantes. Elle repose sur l'existence de leaders qui vont faire évoluer les membres de la communauté vers des visions partagées et vont faire émerger les fonctions et les formes de contributions individuelles qui se complètent (dans le cadre de l'écosystème) et se renforcent ou se légitiment mutuellement.

L'un des intérêts de la notion d'écosystème est de mettre en forme et, par-là, de souligner ce que l'on oublie souvent, à savoir que l'industrie est un espace de complémentarités au moins autant qu'un espace de concurrence et de substitutions. La notion de filière, puis celles de chaîne de valeur ou de chaîne d'offre ont contribué et contribuent encore à orienter l'analyste vers l'étude de cette dimension de l'activité industrielle. Le point de vue écosystémique fournit un cadre de réflexion qui se différencie, comme nous allons le voir, de ces autres notions.

⁶³ Le titre est très discutable car il s'agit moins de la fin de la concurrence que d'un changement de nature.

Par ailleurs, un produit n'est pas seulement défini par la fonction qu'il remplit et par le marché (défini en terme de "besoins") qu'il sert. Un produit est aussi un objet technique. Il y a donc une différenciation le plus souvent et des "sémantiques". Les produits homogènes sont rares et les producteurs déploient le maximum d'efforts pour se différencier et faire croire au consommateur que les services fournis sont différents.

En substance et pour faire un raccourci sans doute audacieux, nous dirons que l'écosystème est à Darwin, ce que l'oligopole est à la concurrence pure et parfaite.

Ecosystème et chaîne de valeur

La chaîne de valeur est certainement un outil permettant de repérer et d'identifier la nature et les rôles des différents acteurs qui interviennent dans un écosystème. Mais il ne s'agit pas d'un concept que l'on peut identifier avec celui d'écosystème. Car un écosystème déborde la ou les chaînes de valeur d'une firme leader ou d'un secteur.

Il existe des acteurs en dehors de la chaîne de valeur : les financiers par exemple ou encore les autorités gouvernementales qui peuvent poser des contraintes et induire l'émergence d'un certain écosystème. Les fabricants de produits complémentaires du produit au centre d'une chaîne de valeur font partie du même écosystème que celui-ci mais sont en dehors de la chaîne de valeur qui le concerne. Les consommateurs ou les usagers d'un produit ne font pas véritablement partie de la chaîne de valeur, mais ils sont intégrés dans l'écosystème dès lors que leur comportement rétroagit sur la conception ou la distribution du produit.

Une façon de décomposer un écosystème consiste à identifier les *domaines* qui le composent. Selon Iansiti et Levien, chaque écosystème comprend plusieurs domaines dont certains peuvent être communs à plusieurs écosystèmes. Ils observent qu'un domaine peut parfois être défini et identifié à un segment d'une industrie. Ils prennent l'exemple des domaines de l'écosystème Microsoft qui en comprend 31 (cf. ci-dessous).

L'étude de l'évolution

1- La compréhension des modes et des possibilités de changement peut s'appuyer sur une analyse écosystémique c'est-à-dire à partir du système des acteurs qui constituent l'écosystème.

Toute la question est de savoir comment peut évoluer l'écosystème : va-t-il (peut-il, doit-il) se dissoudre ou bien peut-il (doit-il) subsister en se transformant c'est-à-dire en modifiant sa conception de son activité. La question du changement en son contenu et celle de la nature des relations entre acteurs, donc de la nature de la distribution des rôles sont liées. L'évolution technologique met en jeu ou remet en cause, potentiellement au moins, l'écosystème existant. Et il est vraisemblable que certains

changements ne seront possibles qu'à condition de s'accompagner de transformations au sein de l'écosystème sinon d'un changement radical de l'écosystème lui-même.

2- il faut introduire ici une autre notion, qui est celle de *business model*.

Chaque acteur du côté de l'offre au sein d'un écosystème a un *business model* (et même parfois les consommateurs, surtout si ce ne sont pas des consommateurs "finaux"). L'écosystème n'est possible que tant qu'en son sein les *business models* s'accordent, sont complémentaires, viables et "satisfaisants".

Un *business model* qualifie (i) l'importance, la nature et l'origine de la valeur qu'une entreprise fournit à ses consommateurs, (ii) l'organisation ou l'architecture productive et logistique qui contribue à créer cette valeur et, (iii) la façon dont la firme capte une partie de cette valeur sous forme de revenu et de profit.

En conséquence :

- Une solution technologique n'est possible que si elle s'inscrit dans un écosystème qui constitue son cadre de fonctionnement et d'évolution "normal" ;
- elle n'est viable et soutenue que dans la mesure où elle s'accorde avec des *business models* qui permettent aux entreprises faisant partie de l'écosystème de survivre.

Tableau extrait de "Strategy as ecology", M. Iansiti et R. Levien, *Harvard Business Review*, mars 2004.

Microsoft and Its Ecosystem

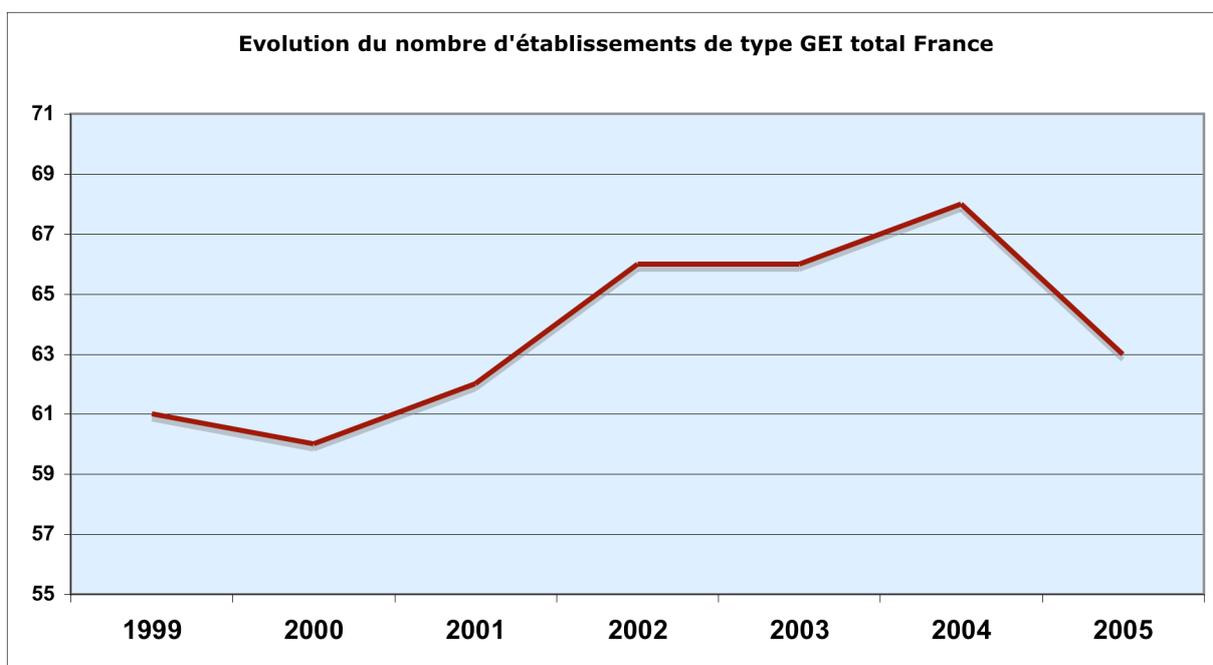
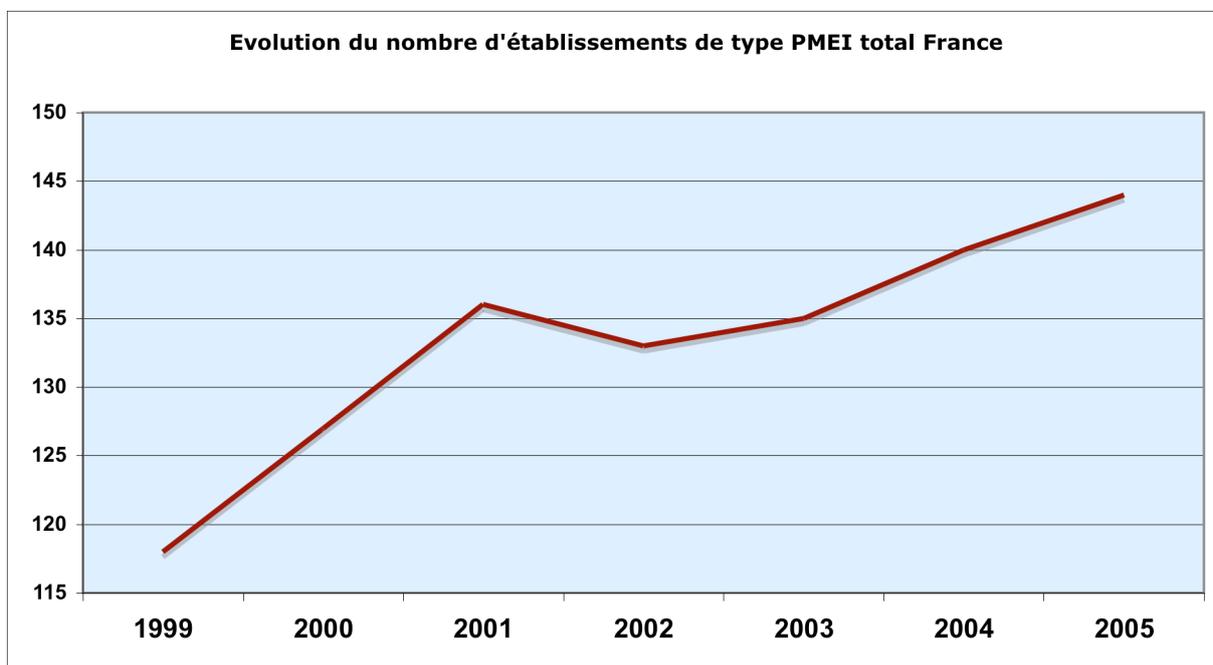
Microsoft's success depends on the health of the numerous domains—some of which comprise thousands of organizations—that make up its software ecosystem.

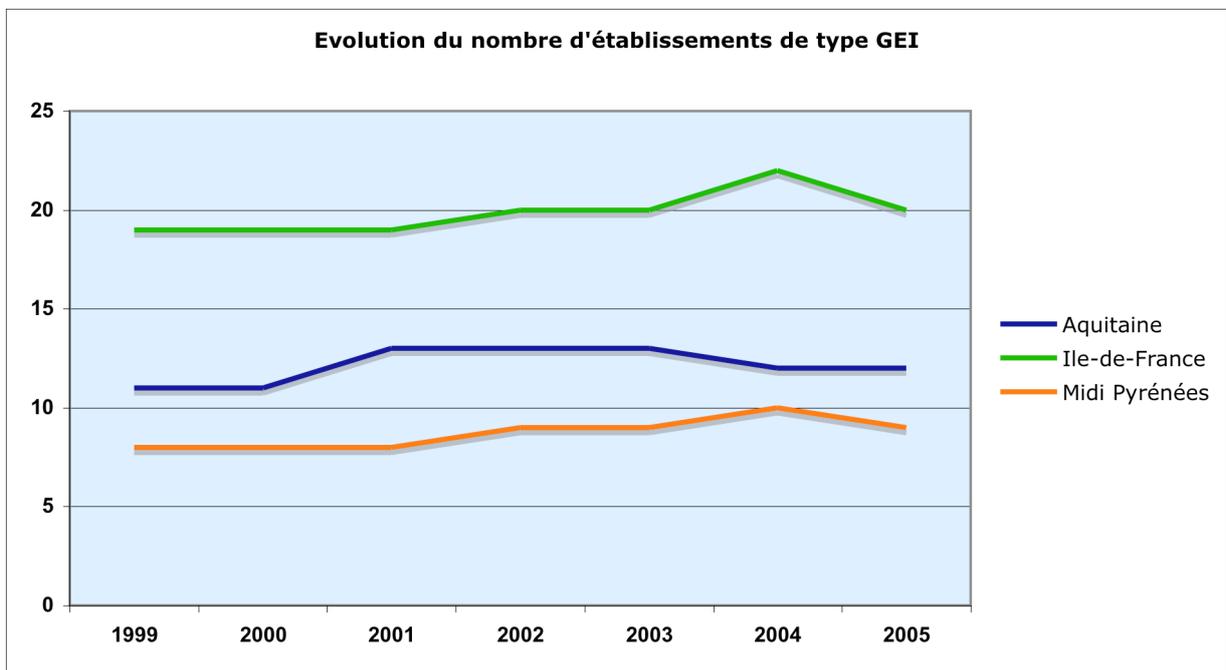
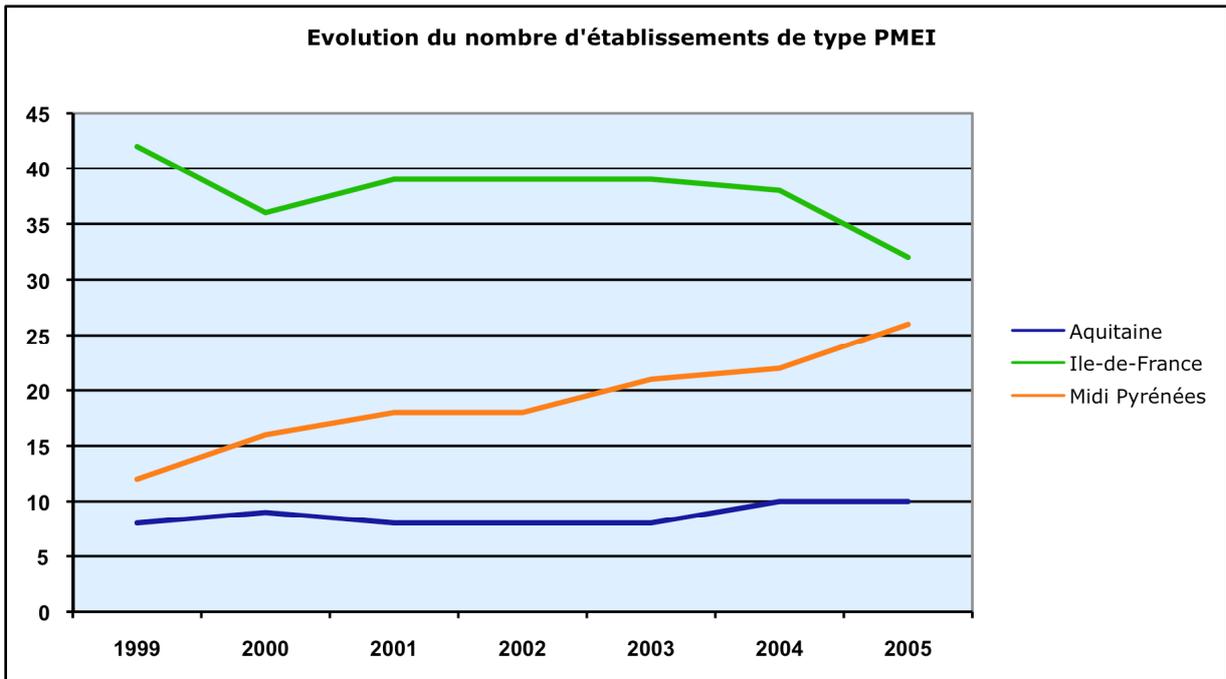
Domain	Number of Firms
Systems integrators	7,752
Development services companies	5,747
Campus resellers	4,743
Independent software vendors	3,817
Trainers	2,717
Breadth value-added resellers	2,580
Small specialty firms	2,252
Top value-added resellers	2,156
Hosting service providers	1,379
Internet service providers	1,253
Business consultants	938
Software support companies	675
Outbound hardware firms	653
Consumer electronics companies	467
Unsegmented resellers	290
Media stores	238
Mass merchants	220
Outbound software firms	160
Computer superstores	51
Application service provider aggregators	50
E-tailers	46
Office superstores	13
General aggregators	7
Warehouse club stores	7
Niche specialty stores	6
Subdistributors	6
Applications integrators	5
Microsoft Direct resellers	2
Microsoft Direct outlets	1
Network equipment providers	1
Network service providers	1

5.2 Evolution historique d'indicateurs socio-économiques

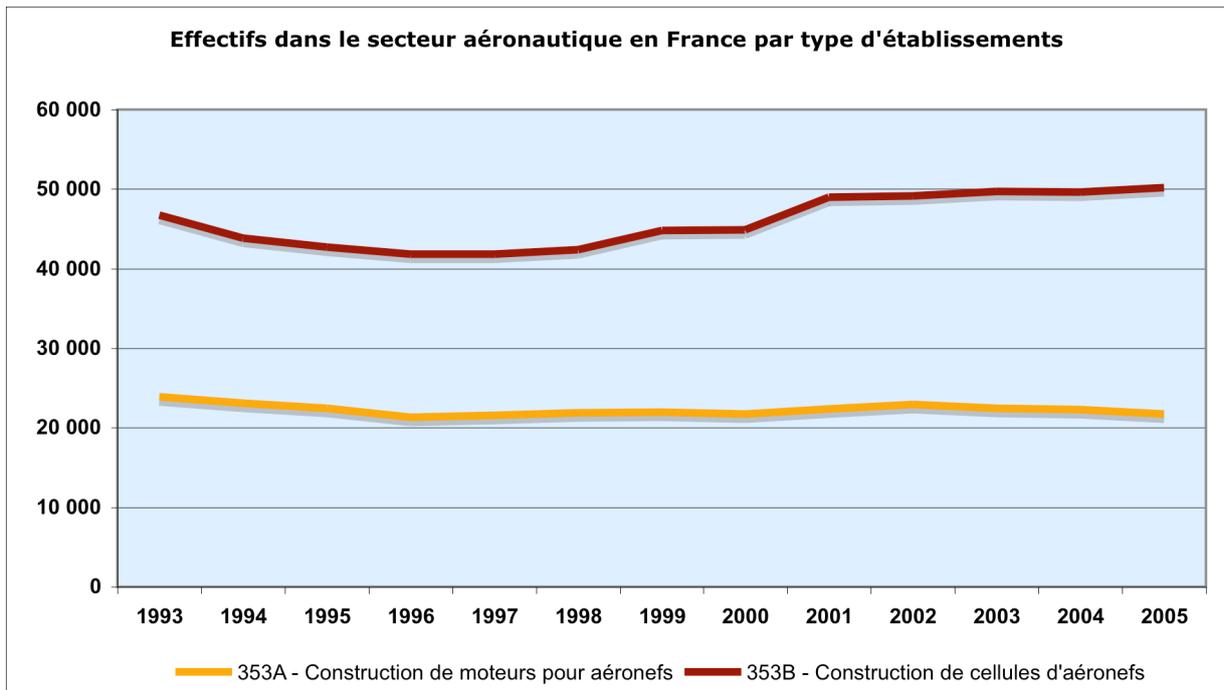
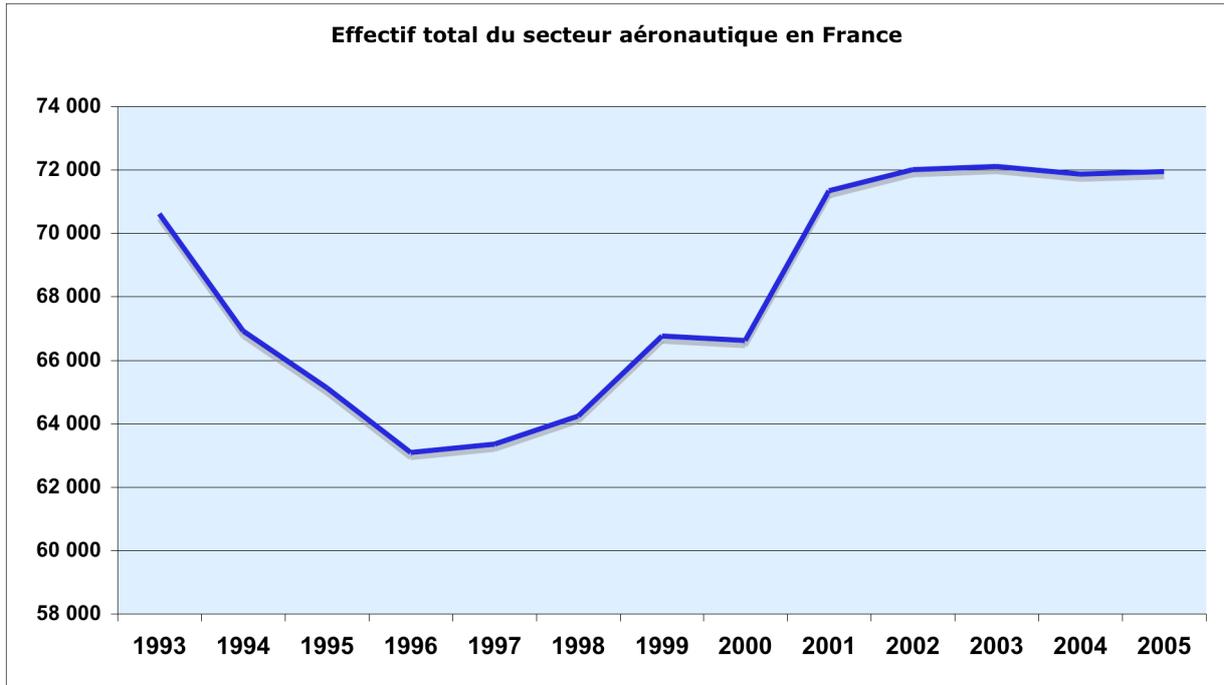
Les tableaux suivants ont pour source les résultats des travaux du SESSI

Nombre d'établissements sur le secteur E13 construction aéronautique et spatial

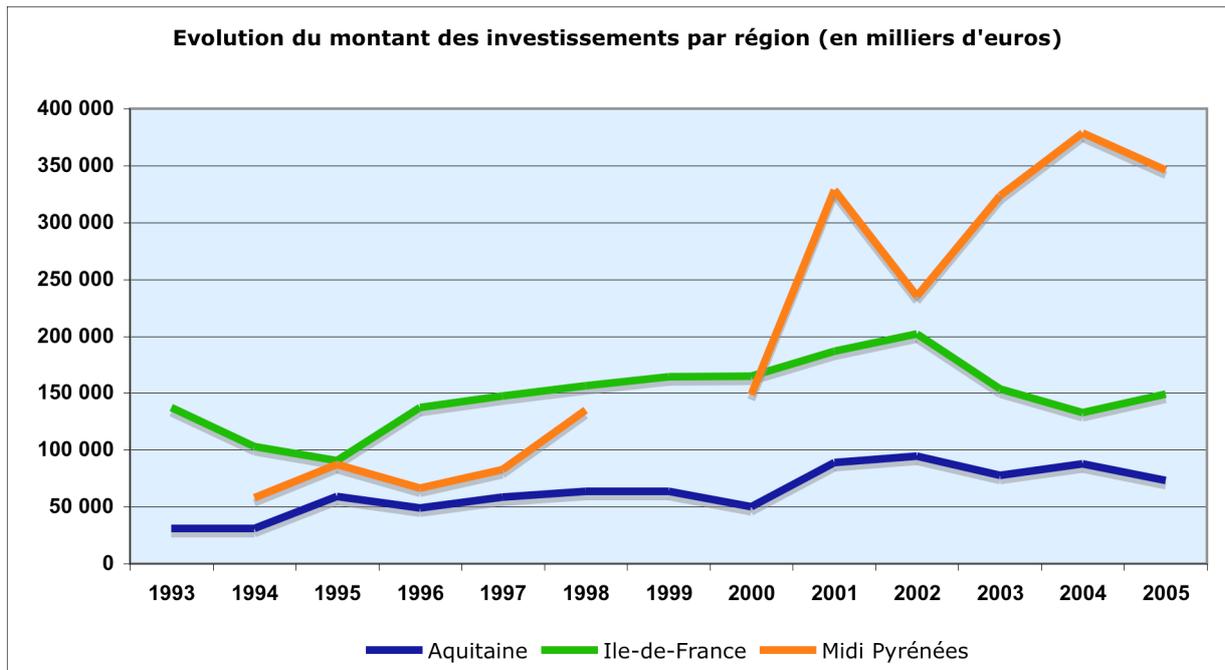




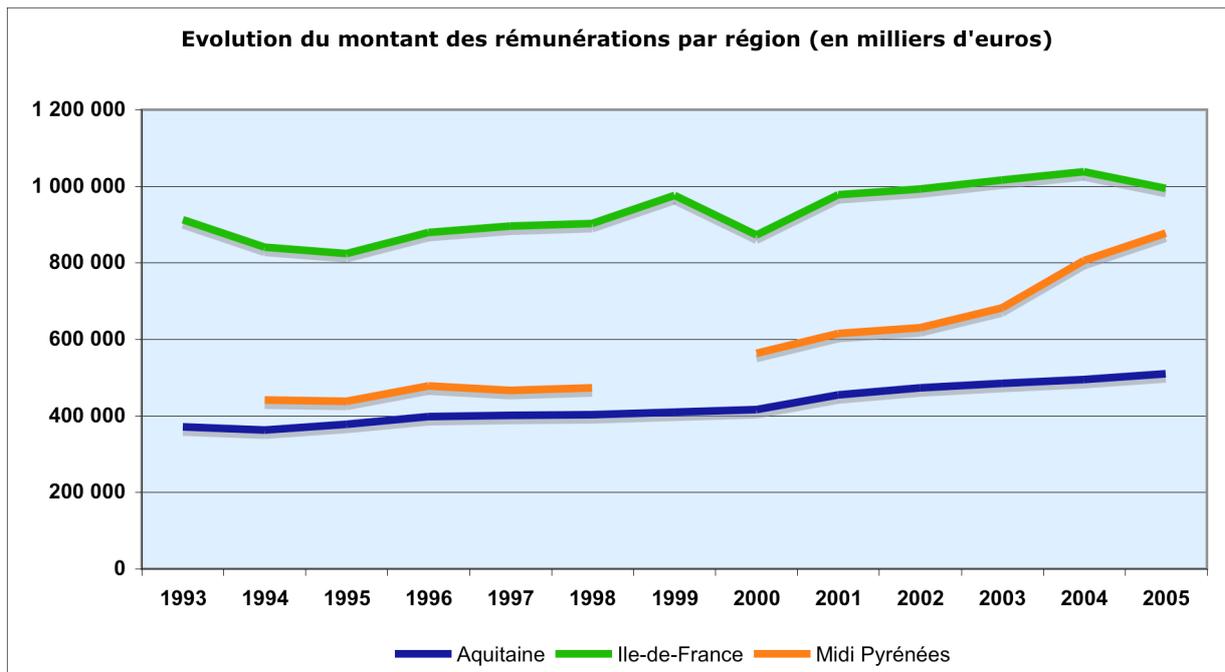
Effectifs aéronautique



Investissements pour E13 construction aéronautique et spatial



Evolution des rémunérations par région pour E13 construction aéronautique et spatial



5.3 Evolution de la certification en France

L'histoire de la certification en France et en Europe, histoire qui est parallèle à celle de la construction d'Airbus, peut être résumée de la façon suivante :

- Caravelle : la certification était à l'époque proche du conseil technique (les compétences étaient étatiques et militaires, l'Etat achetait un prototype) ;
- Concorde : addition des règles françaises (traduction des normes FAA) et des règles britanniques du BCAR, une équipe de certification en France, l'autre au Royaume-Uni ;
- A300 : création du BOCA (bureau officiel de certification Airbus) organisme franco-allemand qui dispose d'un bureau de certification dans chaque pays (certification française à la DGA). Le corpus des règles françaises repose sur la traduction des règles américaines auxquelles s'ajoutent les acquis de Concorde ;
- A320 création de l'association européenne JAA et élaboration d'un noyau de règles européennes communes la JAR 25 proche de la norme américaine. Ce noyau n'écartait cependant pas les particularités des principaux pays européens concernés à savoir UK, Hollande, Royaume-Uni et France;
- Le système précédent ne résolvant pas totalement le problème Airbus, les différences nationales finissent pas être gommées au début des années 1990 avec un JAR 25 harmonisé. La certification engage cependant toujours le pays constructeur aussi la France doit maintenir une équipe complète d'experts doublée d'une deuxième équipe formée d'experts des autres pays européens concernés. Il n'y a pas à ce stade d'autorité supra nationale.
- Création de l'EASA en 2002 dont l'enjeu reste celui de l'acquisition d'une autorité morale et de la reconnaissance internationale⁶⁴.

⁶⁴ Cet enjeu repose sur la compétence et les effectifs des experts de l'EASA dans la certification au regard de ceux dont dispose la FAA sur les mêmes sujets.

5.4 Compte-rendu de l'entretien avec Air France

Le représentant de compagnie aérienne rencontré le 3 mars, évoquant la question de l'**augmentation des prix des carburants**, souligne que jusqu'à présent le système a su s'adapter. Le système économique a pu compenser grâce au renouvellement de la flotte par des avions plus économiques (et plus généralement des gains de productivité) et un report des augmentations sur la « taxe carburant » supportée par les passagers. Au final on constate que le trafic n'a pas vraiment diminué en liaison avec l'augmentation des prix des carburants et que globalement le modèle économique mondialisé reste fortement demandeur de liaisons aériennes. Au demeurant pour les compagnies aériennes l'équation est la suivante : le prix du pétrole augmentant, le prix de l'avion et de son exploitation doivent baisser.

Certains aspects du modèle économique du transport aérien sont ensuite évoqués :

- Les compagnies opèrent en général sur plusieurs types de marchés et notamment le marché des loisirs et celui des affaires, ces marchés surtout le premier étant saisonniers. Cette saisonnalité se reporte surtout sur le remplissage de l'arrière et un peu sur le milieu des appareils ;
- Le transport aérien est présenté comme étant le moyen de transport le plus taxé. Le rail semble comparativement bénéficier en France d'un statut plus favorable bien qu'il soit concurrent direct des lignes aériennes courtes distances ;
- Le transport aérien est un agrégat de nombreux métiers dont chacun a son propre cycle (contrôle aérien, avion, IFE ...). La difficulté pour les compagnies est de projeter cette complexité à 30 ans dans un environnement réglementaire dont l'évolution ne peut être totalement maîtrisée par les compagnies (il y a 5 ans les contraintes portaient sur le bruit, elles portent désormais aussi sur les émissions de CO₂) et alors que pour elles la prochaine génération d'avions, celle qui supportera ces nouvelles sujétions, est celle qui est actuellement programmée ou dont la production commence ;
- La concurrence des compagnies éphémères qui vendent un produit sur une liaison et disparaissent avec ce produit constitue un autre aspect de l'environnement concurrentiel. L'émergence de telles compagnies est possible grâce à la disponibilité d'avions (les moins compétitifs ou ceux que les aviateurs ont sur les bras), au fait qu'il suffit de peu d'argent pour lancer un tel projet dans la mesure où certaines banques y apportent de l'argent⁶⁵. Ces compagnies même si elles disparaissent font des dégâts...

Différents aspects du modèle économique de l'industrie aéronautique et de son évolution possible sont ensuite évoqués :

⁶⁵ Voire les avions qu'elles ont déjà sur les bras

- Les technologies sont potentiellement accessibles à tous les pays⁶⁶. La segmentation actuelle des producteurs repose plus sur le coût de la main d'œuvre avec, d'un côté, des pays développés qui produisent des avions de plus de 100 places, qui ont une main d'œuvre chère mais qui automatisent autant que faire se peut⁶⁷ et, d'un autre côté, des pays moins développés qui produisent des avions régionaux avec une main d'œuvre à bas coût et des procédés plus artisanaux⁶⁸. Cet équilibre peut néanmoins se déplacer ;
- L'aéronautique reste un système à évolution lente dans une économie où les systèmes sont de plus en plus des systèmes à évolution rapide reposant parfois sur des sociétés qui ont la durée de vie de leurs produits. Il est rappelé que le métier d'avionneur est multiple mais qu'en final il se traduit par le fait de présenter le **certificat de sécurité** et de garantir cette sécurité dans le temps (il en est de même pour le transporteur avec le certificat de transporteur aérien) ;
- Les sous-traitants sont devenus des Risk and Revenue Sharing Partners, on peut se poser la question de savoir si dans le futur il n'y aura pas une forme de co-responsabilité conceptuelle de l'avionneur et de ses sous-traitants⁶⁹ ;
- L'obtention de certains marchés se fait aussi sur la base d'offsets et ce sur des valeurs de plus en plus technologiques ce qui contribue à l'émergence de nouveaux concurrents ;
- A la question d'une possibilité de développement des avionneurs⁷⁰ dans les services, le transporteur rencontré indique que ce type de développement est actuellement possible parce qu'il répond au besoin des compagnies qui viennent d'être lancées, compagnies low cost ou compagnies éphémères évoquées ci-dessus mais que les compagnies traditionnelles qui opèrent plusieurs centaines d'appareils ne peuvent se lier de cette façon à un avionneur. La possibilité de développement des avionneurs dans les services, à l'image de ce qui se fait dans d'autres secteurs industriels, semble donc limitée ;
- L'attention est également attirée sur divers aspects annexes du métier d'avionneur :
 - o Airbus et Boeing sont parfois conduits pour vendre leurs produits à des compagnies aériennes, de reprendre des avions de ces compagnies y compris des avions de leur concurrent. Il est ainsi arrivé certaines années que Boeing vende plus d'avions Airbus que d'avions Boeing...

⁶⁶ NDLR : sans doute avec un décalage dans le temps

⁶⁷ Les composites, procédé automatisable, permettent un moindre recours à la main d'œuvre

⁶⁸ La Russie semble faire le choix d'un modèle occidental avec des investissements lourds dans l'outil de production.

⁶⁹ NDLR on comprend que cette co-responsabilité pourrait faire que le transporteur n'ait plus un interlocuteur unique face à lui.

⁷⁰ Il est fait allusion à Airbus Customer Services qui emploie actuellement 3000 personnes et fait de la gestion de flotte et de la maintenance un peu à l'image d'un loueur tel qu'ILFC.

- Le département Asset Management d'Airbus a été constitué en 1994 pour gérer et remettre sur le marché des avions de seconde main acquis par Airbus, à l'origine en raison de la faillite de certains de ses clients, et par la suite dans le contexte de certains engagements de rachat. Ce département fonctionne avec un effectif dédié et gère une flotte composée d'appareils Airbus de toutes catégories (de l'ordre de 50 appareils). A travers ses activités, le département Asset Management aide Airbus à répondre plus efficacement aux besoins à moyen et long terme de ses clients en matière de flotte. Ses principales missions comprennent la gestion commerciale et celle du risque du portefeuille d'avions de seconde main. La plupart des avions sont mis à la disposition des clients sous forme de vente simple mais certains ne peuvent être proposés que sous la forme de location d'exploitation.
- Cette activité ne doit pas être considérée comme un axe stratégique de développement des avionneurs mais plus comme une adaptation à une réalité du marché ;
- Les ratios financiers d'un loueur comme ILFC sont très bons voire meilleurs que ceux de Boeing ou Airbus ; Ces loueurs auxquels les compagnies font appel pour une partie de leur flotte captent une partie non négligeable de la valeur de la chaîne transport aérien ;

Il est indiqué que les contrats du type PSA (Preferred Supplier Agreement) entre les avionneurs et leurs équipementiers se font au détriment de la concurrence et des compagnies aériennes qui se retrouvent dépendantes de ces fournisseurs (exemple Rolls-Royce fournisseur unique sur l'A340-600). Notre interlocuteur reste rêveur devant le système militaire américain qui arrive à séparer les contrats de développement et à maintenir la concurrence entre deux fournisseurs en phase de production⁷¹. Les compagnies aériennes souhaiteraient, d'une part, réintroduire de la concurrence à un certain niveau et, d'autre part, être impliquées dans la négociation des monopoles de droit concédés à certains équipementiers.

L'apparition d'un troisième avionneur est souhaitée par les compagnies aériennes. Les possibilités existent avec Sukhoï⁷², Embraer, Bombardier et sans doute la Chine si celle-ci arrive à intégrer les normes occidentales. En résumé les scénarios vus et en tout cas souhaités par les transporteurs seraient les suivants :

- Apparition d'un troisième avionneur concurrent d'Airbus et de Boeing ;

⁷¹ NDLR ce système a son coût et ne peut exister que grâce à la puissance de l'acheteur DoD.

⁷² L'industrie russe est sans doute celle qui est capable d'aller le plus rapidement sur les segments haut de gamme c'est à dire nettement plus de 100 places et au-delà du régional.

- Plus de délocalisation et de concurrence sur des strates plus importants (ensembles ou fonctions) ;
- A l'inverse nos interlocuteurs ne croient pas au développement des avionneurs dans les services et en tout cas ne le souhaitent pas.

A la question de savoir ce qui ne changera pas, les points suivants sont mis en évidence par les compagnies aériennes :

- L'importance de gérer le risque d'accident en fonction de l'augmentation du trafic ;
- Les taxations du transport aérien ;
- La perturbation du marché tant que l'on peut créer une compagnie avec peu de chose.

5.5 Compte-rendu des entretiens avec EADS et Boeing

Boeing (mars 2008)

Sur les contraintes environnementales qui sont un élément sinon l'élément principal de contexte, l'analyse suivante est faite par le représentant de Boeing :

- Les émissions de CO₂ liées au transport aérien ne représentent actuellement que 2 % des émissions totales de CO₂, toutefois la sensibilité des opinions à l'égard des nuisances du transport aérien va au-delà de ce constat ;
- Par ailleurs avec un taux de croissance de 5 % par an et une flotte en exploitation qui va doubler en 20 ans cette part va sensiblement augmenter. Le transport aérien ne peut donc se placer en dehors de ce contexte environnemental. Il en va également de l'image des industriels du secteur aéronautique qui doivent apporter leur contribution ;

La lutte contre le bruit et celle contre les émissions de CO₂ sont relativement antinomiques sur le plan technique. Dans un contexte de droit limité et contrôlé aux nuisances sonores, les aéroports privilégient la lutte contre le bruit afin de maintenir le nombre de vols alors que les compagnies demandent à la fois des réductions de bruit et de consommation.

Le recours **aux nouveaux matériaux** et notamment aux composites pour la réalisation des structures aéronautiques est une des réponses aux contraintes environnementales : en permettant de diminuer le poids des structures les composites permettent d'alléger la consommation et donc les émissions de CO₂. Boeing et Airbus et ont réellement pris le virage de composites avec le B787 et son concurrent l'A350 dont les structures sont faites à plus de 50 % de matériaux composites (à comparer à environ 30 % sur les avions antérieurs).

Sur le scénario **aile volante**, présenté comme le moyen de doubler le nombre de passager dans un encombrement équivalent à celui d'un A380, il est indiqué que les travaux de Boeing ont été motivés par la perspective de réduire la traînée aérodynamique ainsi que la masse des structures. Le principal obstacle à la concrétisation de ce projet reste l'acceptabilité pour les voyageurs d'un espace relativement clos.

Le **scénario bas de cycle** est perçu comme particulièrement pessimiste. Les scénarios de croissance d'Airbus et de Boeing sont basés sur des fondamentaux qui ne semblent pas devoir être remis en cause par une crise comme celle des crédits subprime :

- Les compagnies traditionnelles européennes se sont restructurées et ont modernisé leur flotte, elles sont saines ;
- Les compagnies américaines vont entrer dans un cercle vertueux et, à leur tour, devoir moderniser leur flotte ;

- On ne voit pas la fin du développement de l'Asie : actuellement la demande chinoise porte sur les liaisons intérieures mais à terme elle se tournera vers l'étranger ;
- Il n'y a pas de véritable concurrence au transport aérien : le TGV est compétitif en Europe pour des voyages d'une durée maximum de 3 à 4 heures au-delà il ne l'est plus. C'est la raison pour laquelle aux Etats-Unis les liaisons inter-cités restent essentiellement assurées par le transport aérien.

Ainsi actuellement les avionneurs ne se battent pas pour le gain de parts de marché mais pour des délais de réalisation raisonnables.

Le scénario d'apparition d'un **troisième voire d'un quatrième avionneur** est perçu comme très réaliste. Il existe des projets (Canadien avec Bombardier, russe avec Sukhoï, chinois...).

Il est cependant souligné que si la Chine sort un avion au niveau actuel de sa technologique, cet avion risque d'être obsolète en l'espace de 10 ans alors que la durée de vie normale d'un avion est de 30 voire 40 ans. Airbus et Boeing attendent de leur côté un gap technologique significatif pour sortir les successeurs des A320 et B737.

A long terme les duopoles risquent effectivement de disparaître qu'il s'agisse de ceux des avionneurs, des motoristes ou des équipementiers : Pratt & Withney reviendra dans la motorisation des moyens courriers et Airbus et Boeing seront concurrencés dans les moyens courriers.

Dans le cadre du scénario **d'évolution de l'Air Traffic Management** (système de systèmes), il est souligné qu'une meilleure gestion du trafic aérien permettrait des gains de 11 à 12 % de consommation ce qui est loin d'être négligeable tant pour les marges des compagnies que pour les émissions de CO2. Des progrès seront vraisemblablement à faire avant 2050 (horizon de l'étude FP 6 IFATS) avec une optimisation des roulages au sol et une optimisation des vols.

Le scénario de **supersonique** évoque le projet Sonic Cruiser⁷³ lancé par Boeing puis abandonné. L'analyse est que les compagnies aériennes ont un besoin d'homogénéité dans les vitesses de leur flotte. Le supersonique perturbe les schémas actuels des compagnies. Par ailleurs les contraintes environnementales sont désormais telles que Boeing dit ne pas voir un retour du supersonique à horizon prévisible même lointain.

La vision de Boeing sur le métier d'avionneur est effectivement celle d'un concepteur, assembleur (référence à la CDV Architecture MOI) mais également celle d'un métier de services.

Boeing ne dispose que d'une seule chaîne d'assemblage et il fonctionne suivant un modèle « Best of Industrie » qui consiste à prendre là où il se

⁷³ Le Sonic Cruiser était en fait légèrement subsonique.

trouve le meilleur de l'industrie. Ainsi Boeing s'est dessaisi de certaines activités comme son activité câblage vendue à Labinal qui est un bien meilleur industriel que lui sur ce sujet. Boeing se fournit également auprès des équipementiers européens. Ainsi en 2009 Boeing achètera pour 4 milliards d'€ à l'industrie aéronautique française ce qui représente de l'ordre de 20 000 emplois.

Les difficultés rencontrées sur le B787 sont liées à une sous-estimation du besoin de coordination des industriels que nécessite le modèle « Best of Industrie » et à la simultanéité de l'introduction de ce nouveau modèle industriel et de nouvelles technologies. Face à ces changements multiples Boeing s'est trouvé confronté à un manque d'ingénieurs : on avait mal évalué que la contrepartie du « BoI » était de disposer d'ingénieurs en propre pour piloter et coordonner les fournisseurs. L'introduction de nouvelles technologies n'a fait qu'accentuer le phénomène de pénurie.

Reviendra-t-on pour autant sur ce modèle ? La question n'est pas tranchée actuellement.

--- § ---

EADS (mars 2008)

Les grands objectifs du plan Vision 2020 pour EADS présenté par Louis Gallois en janvier 2008 sont rappelés :

- Rééquilibrer le poids des différentes branches d'EADS notamment en amenant celui d'Airbus de 64 % actuellement à 50 % en 2020 par une croissance organique des autres activités ;
- Délimiter les activités « core » de celles « non core » ;
- Faire passer les activités de services de 10 % à 20 % voire 25 % d'ici 2020 ;
- Internationaliser les activités d'EADS notamment par une politique d'acquisition hors Europe (Etats-Unis et Asie), cette politique devant permettre également d'être moins dépendant de la zone euro, dépendance handicapante dans le contexte actuel pour la rentabilité d'EADS ;
- Etre éco-efficient ;
- Savoir attirer les talents.

L'objectif prospectif et la liste des scénarios suscitent le commentaire suivant de la part de nos interlocuteurs : dans l'aéronautique l'horizon 2020 est du court terme pour ce qui concerne les produits, mais c'est bien du long terme pour ce qui concerne l'évolution des organisations et des structures industrielles. Ainsi la rapidité de l'évolution de la parité €/ \$ nécessite des adaptations qui bien que devant être rapides seront néanmoins structurelles.

Les deux CDV « Architecture MOI » et « Structures aéronautiques » qui

concernent plus directement Airbus sont plus particulièrement commentées. Le fait d'avoir distingué ces deux CDV paraît opportun. Sur le contour des activités les remarques suivantes sont faites :

- la forteresse du métier d'avionneur est constituée par la maîtrise de la **certification**, c'est ce qui ne doit pas être lâché. Pour la maîtriser il faut maîtriser effectivement certaines des briques indiquées dans la CDV « Architecture MOI » ;
- Il faut sans doute ajouter un pavé « services » peu développé à l'heure actuelle mais qui pourrait se développer dans le futur : si certains services comme la maintenance constituent des zones de friction avec les compagnies traditionnelles, les nouvelles compagnies ont tendance à se comporter comme de simples « agences de voyage » vendeuses de billets. Elles sont donc « simplement » demandeuses d'heures de vol, elles négocient par exemple des contrats de livraison d'avions avec pilotes formés (activité de formation). Par ailleurs Airbus a un potentiel de développement dans les services pour la défense dont le futur contrat FSTA pour la RAF pourra constituer un exemple⁷⁴. L'objectif du développement dans les services est de trouver des relais de croissance acycliques voire contra cycliques ;
- L'assemblage représente plus vraisemblablement 6 à 10 % de l'activité que les 10 % à 15 % indiqués sur les diagrammes.

Un commentaire est fait par ailleurs sur la planche IFE. C'est un sujet considéré comme intéressant par Airbus : il s'agit de technologies non matures qui évoluent encore beaucoup trop vite pour susciter des investissements. Airbus souhaite ainsi éviter le financement de l'installation à bord d'infrastructures qui ne lui seront pas payées et qui risquent de devenir rapidement obsolètes. Il s'agit donc essentiellement du point de vue de l'avionneur de contrôler que le concurrent n'en fasse pas un avantage compétitif. A terme le sans fil devrait donner une certaine autonomie aux passagers sans que l'avionneur ait à investir.

La liste des scénarios est commentée :

- le scénario nouveaux entrants paraît à long terme inéluctable ; il ne peut cependant s'agir d'une entrée « balistique » au standard Airbus ou Boeing ;
- le scénario nouveaux matériaux est en cours avec les freins que l'on connaît (dépendance de l'Europe, résistance des technologies aluminium, manque de retour d'expérience sur le composite). Sur le B787, Boeing a sans doute pris un double risque celui d'introduire une nouvelle technologie et celui de sous-traiter plus. L'approvisionnement des matières premières reste à sécuriser notamment pour les fibres carbone (la dépendance pour le titane étant géologique) : l'investissement pour la partie industrielle est estimé à quelques centaines de millions d'€ auxquelles il convient d'ajouter un délai de 10 années de recherche ;

⁷⁴ Ce contrat PFI (initiative de financement privé) prévoit la fourniture de services élargis à des missions de ravitaillement en vol et de transport aérien confiés à l'industrie.

- le scénario Open Rotor n'est qu'un scénario parmi d'autres scénarios moteurs ;
- le scénario aile volante ne suscite pas de commentaire particulier⁷⁵ ;
- le scénario supersonique est qualifié de vrai sujet stratégique, il pose toutefois question « Doit-on préparer son retour ? »⁷⁶ ;
- le scénario bas de cycle semble devoir être argumenté sous la forme d'une tendance lourde environnementale qui pourrait bousculer les prévisions actuelles de croissance à 5 % pendant 25 ans. Les préoccupations écologiques peuvent en effet toucher les habitudes des touristes occidentaux⁷⁷ il ne resterait alors que la croissance liée aux pays émergents et celle liée à l'activité business. A l'inverse si les problèmes écologiques sont résorbés sur les autres fronts (transports terrestres, chauffage...) la contribution du transport aérien aux émissions de CO2 pourrait être perçue pour ce qu'elle est c'est à dire comme relativement marginale.

La discussion porte ensuite sur ce qui pourrait motiver des changements de frontières entre l'avionneur et ses fournisseurs. Il est rappelé que l'avionneur porte une responsabilité d'ensemble sur l'avion notamment à travers la certification. Il prend à sa charge la part la plus importante des risques, il doit donc trouver sa contrepartie dans un accès aux marges.

Il est des endroits où les fournisseurs ne seront pas les biens venus : l'intelligence et le cerveau électronique de l'avion... A l'inverse il y en a d'autres où les avionneurs pourraient souhaiter aller. La séparation avionneur / motoriste pourrait par exemple être reconsidérée, elle n'est pas « naturelle », « elle sépare les activités qui supportent les risques de celles qui margent » On risque d'aller vers des formules nouvelles où plus d'alliance sera nécessaire entre un avionneur et son motoriste.

⁷⁵ NDLR : sur le segment gros porteur Airbus dispose déjà de l'A380.

⁷⁶ NDLR : on remarquera les réactions opposées des représentants de Boeing et d'EADS sur les sujets supersonique et aile volante.

⁷⁷ « Ce n'est pas écologique de voyager à l'autre bout du monde »

5.6 Compte-rendu des entretiens avec le GIFAS et l'ONERA

Nos interlocuteurs (GIFAS et ONERA) ont souligné que l'avion qui entrera en service en 2020 est aujourd'hui relativement connu, s'il s'agit de prospective la question serait donc d'imaginer l'avion que l'on commencera à étudier en 2020.

Le document « Out of the box » réalisé à la demande de la Commission pour imaginer des idées radicalement différentes du transport aérien peut éclairer cette vision post 2020.

L'étude européenne (FP6) IFATS (Innovative Future Aircraft Transport System – www.ifats-project.org), réalisée entre autres par l'ONERA qui vise à considérer l'avion comme un élément d'un système plus vaste (système de systèmes) va également dans ce sens.

Dans le contexte actuel la R&D est guidée par les préoccupations économiques et environnementales. Ceci concerne toutes les parties de l'avion (structures, formes aérodynamiques, moteurs, équipements...) ainsi que l'Air Traffic Management et se décline de la façon suivante :

- Sur l'avion : amélioration des rendements moteurs, réduction de la traînée aérodynamique, allègements des structures et des équipements ;
- Sur la conception du système transport aérien (activité de l'ONERA Toulouse) ;
- Les carburants alternatifs ;
- L'acoustique.

Le résumé utilisé par le GIFAS « moins de CO2 et pas plus de bruit » illustre assez bien les objectifs dans le domaine des avions commerciaux. Cet objectif est assez ambitieux car si les concepts open motor⁷⁸ permettent d'envisager un objectif de -20% de consommation par rapport aux dernières générations de turbo-fan, il restera à les faire fonctionner au même niveau de bruit que les actuels turbo-fans carénés.

Ce changement de type de moteur conduit vraisemblablement à reconsidérer complètement l'architecture des avions en plaçant les moteurs à l'arrière⁷⁹, en dédoublant l'empennage pour loger les moteurs. Il est probable que ces nouvelles architectures vont nécessiter, en phase initiale, une optimisation par l'avionneur et donc une reprise en main de la maîtrise de certaines fonctions qui, dans les configurations antérieures, avaient pu être déléguées aux équipementiers⁸⁰ (motoristes, nacellistes...). Sur les moteurs même l'architecture conduit à introduire un réducteur de vitesse de forte puissance

⁷⁸ Il s'agit en fait de turbo propulseurs rapides non carénés éventuellement avec des hélices contrarotatives.

⁷⁹ Et éviter d'avoir une trop grande interaction entre le souffle des pales et les ailes.

⁸⁰ Cf. l'expérience de l'A400M où l'étude de l'interaction souffle-ailes a conduit l'avionneur à re-spécifier le sens de rotation des différents moteurs.

et des hélices plutôt que des fans⁸¹ ...

Les innovations de rupture ne sont pas à ce stade évidentes d'autant plus que la pression sur l'environnement et les coûts d'exploitation guident les choix techniques :

- Les biocarburants s'ils constituent un carburant de remplacement risquent de se heurter au même problème que les dérivés du pétrole au regard de l'environnement. Par ailleurs on ne voit pas actuellement en quoi ils conduiraient à une rupture ;
- Le supersonique civil ne semble pas dans l'air du temps, s'il renaît un jour il devrait se cantonner aux jets d'affaires ;
- Avion biplan ?
- L'aile volante peut se concevoir dans le cas d'avions de très grande capacité mais comment faire accepter des rangs de 20 sièges sans proximité des fenêtres. De plus les problèmes de stabilité à faible vitesse doivent être résolus ;
- Le dirigeable, même si on peut aujourd'hui envisager des vitesses de 100 à 200 km/h, reste un engin lent. De plus il nécessite de nouvelles infrastructures au sol et pose certaines questions de sécurité.

Il est conseillé de se reporter pour ces aspects futuristes aux réflexions « Out of the book ».

L'évolution de l'architecture actuelle des gros bimoteurs est proche de son asymptote. Les quelques optimisations perceptibles sont l'open motor contrarotatif, l'architecture avec des moteurs placés à l'arrière, des dérives en V ou en U (architecture moins lourde). Les hélices doivent permettre d'atteindre des vitesses proches de celles obtenues par les turbofans, la baisse de performance étant quasi imperceptible sur des liaisons courtes.

Sur la question de savoir si les contraintes environnementales et les programmes de recherche afférents constituent un avantage compétitif pour Airbus et l'industrie européenne, nos interlocuteurs sont sceptiques car Boeing est également tiré dans ce sens par des financements de la NASA.

Sur la sécurité il y a toujours eu quelques axes recherches (sécurité du poste de pilotage, givre, foudre) mais il n'y a pas de ruptures en vue. Dans le domaine du pilotage des concepts de pilotage adaptatif (par exemple en situation dégradée) ou de pilotage avec un seul pilote pourraient émerger.

La « révolution du composite » est plutôt une évolution. On arrive aujourd'hui à des taux de 50 % tant sur le B787 que sur son concurrent l'A350. Il convient en effet de rester relativement prudent dans l'introduction de cette technologie et d'attendre les premiers retours d'expérience. Un des intérêts de cette technologie réside au plan de l'outil industriel dans la possibilité d'automatisation. L'aluminium a cependant encore quelques réserves à faire valoir.

⁸¹ Verra-t-on alors Ratier Figeac intervenir dans ce type de conception ?

A la question de savoir si les technologies hydrauliques vont survivre au tout électrique, la réponse est qu'à terme il se peut effectivement que ces technologies disparaissent. On perçoit également qu'il y aura moins de métaux et d'usinage mécanique (les composites entrent aussi dans les moteurs et autres pièces mécaniques).

D'autres projets d'Airbus sont évoqués :

- Projet d'avion low cost post A350 ;
- « Simple Fly Bus » projet long terme incluant la prise en compte du coût de possession ;
- Allongement de la durée de vie des avions afin de favoriser le ROI et corollaire sur la modularité cellules et moteurs ;

Globalement il semble à nos interlocuteurs qu'Airbus doit aussi chercher à mieux profiter de la structure EADS et de l'ensemble des compétences R&T qui s'y trouvent.

Les compétences appelées à se développer dans le domaine de la R&D sont, outre l'aérodynamique qui reste le sujet fondamental, la gestion du trafic aérien (aspects système et optimisation) et la maîtrise des émissions autour des aéroports (chimie de l'environnement). Plus de transversal et d'interdisciplines seront introduit pour éclairer l'optimisation du choix des solutions.

5.7 Compte-rendu de l'entretien avec la DGAC

Février 2008

Notre interlocuteur signale une étude américaine (USAIRE (United States Aerospace Industry Representatives in Europe) AWARD 2007) qui peut présenter un intérêt dans le cadre de la mission PIPAME dans la mesure où il y est fait état de scénarios novateurs. Il signale également qu'il existe déjà une structure de réflexion DGE/DGAC/DGA dont les axes de travail sont :

- la dualité (compenser ce que la défense ne fait plus ou ne finance plus, ainsi dans le domaine de la navigabilité la création de l'EASA illustre le remplacement d'une ancienne filière militaire par une filière civile...)
- l'alternance des cycles civil/ militaire ...

Il évoque ensuite plusieurs pistes qui peuvent concerner à son sens l'étude PIPAME :

1. Lien entre les CDV et certains services régaliens (certification, évolution du référentiel normatif et réglementaire)
2. Problématique €/\$/ / possibilité d'une évolution vers une facturation en €
3. Problématique des low cost (il s'agit ici des délocalisations vers les pays à bas coûts)
4. Restructuration des CDV structures aéronautiques : paysage morcelé en Europe, Airbus souhaite réduire ses fournisseurs de 580 à 20 au premier rang, la conception plus monolithique des pièces composites et leur fabrication plus automatisée conduisent de toute façon à la réduction du nombre de sous-traitants et du poids de la main d'œuvre. Il illustre ce propos par l'exemple du caisson de la dérive du Falcon 7X réalisé en une seule opération. Il est également circonspect quant aux possibilités de transfert de réelles responsabilités vers les sous-traitants alors que l'avionneur reste techniquement responsable de l'enveloppe aérodynamique et du comportement de la structure.
5. La problématique de gros sous-traitants pose plus généralement la question de la maîtrise de la chaîne logistique et technique par l'avionneur. L'avionneur ne peut s'affranchir de cette maîtrise ce qui réduit considérablement la marge de manœuvre des sous-traitants.
6. Le road map technologique aéronautique 2020 est relativement connu mais que les conséquences sur les chaînes de valeur et l'organisation industrielle n'ont pas encore été vraiment étudiées.
7. Le discours général selon lequel la R&D est tirée dorénavant par les PME ne s'applique pas en l'état au secteur aéronautique et à ses longs cycles d'intégration des technologies. Pour espérer s'inscrire dans les futurs programmes, il est en effet nécessaire que la PME fasse, d'une certaine façon, *valider* son programme de R&D en amont par l'avionneur.

8. La question de la certification en tant que moyen d'écartier de nouveaux entrants est évoquée : notre interlocuteur fait cependant remarquer que Airbus coopère avec Embraer, Boeing avec Sukhoi et que la Chine n'a pas besoin d'assimiler les normes occidentales si elle destine son avion régional à son marché intérieur. Les grands équipementiers sont quant à eux capables d'assumer leurs propres responsabilités avec les avionneurs nouveaux entrants.
9. Il souligne l'importance de la CDV aménagement intérieur comme stratégie pour certains avions et certaines compagnies dans la mesure où elle est un des rares endroits de customisation et de différenciation.
10. Enfin, il signale la mise en place d'une mission préliminaire chargée de déterminer qu'elles pourraient être les missions d'un futur conseil pour la recherche aéronautique

5.8 Les aspects militaires

Mars 2008

L'évolution générale en cours dans **l'aéronautique civile** (Power 8, RRSPs⁸², limitation du nombre de contractants d'Airbus...) fait songer à celle observée il y a quelques années dans le secteur de l'automobile.

Du point de vue du ministère de la défense il s'agit d'éviter les dommages collatéraux et la disparition de sociétés ou d'activités qui sont impliquées dans le déroulement des programmes en cours ou qui sont considérées comme stratégiques pour les programmes futurs. Le sort des sociétés de taille sous-critique fait ainsi l'objet d'une attention particulière de leur part.

Cette recomposition du paysage est observée au sein du ministère de la défense notamment via le dispositif de contrôle des investissements étrangers dans des activités ayant trait à la défense.

Par ailleurs la Délégation Générale pour l'Armement est membre du Groupe Opérationnel National qui assure le suivi de la mise en place du plan Fillon pour l'aéronautique.

Le plan de charge des industriels de l'aéronautique est actuellement largement assuré par le secteur civil.

Le contexte dans le **secteur aéronautique défense** est connu (le problème de la « bosse budgétaire »). La sortie du Livre Blanc de la Défense et de la Sécurité nationale devrait permettre d'éclairer en termes de doctrine les choix à venir, il faudra toutefois attendre la nouvelle loi de programmation pour en connaître les conséquences sur le plan des programmes et donc sur le plan industriel.

Le budget annuel de financement de la R&T aéronautique militaire est actuellement dans la continuité de ces dernières années, il faut également prendre en compte les subventions (R&T et fonctionnement) à l'ONERA. La doctrine de ne plus financer le dual sur le budget défense est en place depuis plus d'une dizaine d'années.

Il est indiqué que le plan stratégique d'EADS « Vision 2020 » vise à équilibrer les activités d'Airbus par un développement des autres activités (dont défense et services) et à diminuer l'exposition au risque de taux de change. Dans cette perspective la répartition actuelle des effectifs Europe et hors Europe pourrait être appelée à évoluer.

En ce qui concerne un recours croissant aux **composites**, les représentants de la DGA font remarquer que l'on ne peut réellement parler de rupture.

⁸² Risk and Revenues Sharing Partners

L'introduction des composites dans l'aéronautique remonte à plus de 30 ans⁸³. Cependant le recours aux composites sur de grandes structures à longue durée de vie ne dispose pas encore d'un retour d'expérience suffisant. Aussi Airbus reste pour le moment partisan de structures mixtes (alliages / composites).

Les scénarios d'un troisième voire d'un quatrième avionneur sont à prendre en considération. Outre les avionneurs qui ont fait leurs preuves dans l'aviation régionale (Embraer, Bombardier) certains pays ont des volontés stratégiques de se maintenir ou de se développer dans l'aéronautique tant civile que militaire. C'est le cas de la Chine, de la Russie voire du Japon et de l'Inde. Ces pays disposent d'un accès à certaines matières premières stratégiques pour l'aéronautique comme le titane (Russie, Japon, Chine, Inde, États-Unis). Les grosses capacités de production de fibres de carbone à haut module d'élasticité sont quant à elles essentiellement sous contrôle japonais ou américain.

Le scénario à plus long terme (2050) visant à penser le transport aérien comme un système de systèmes rappelle une évolution qui a eu lieu dans la défense avec les échanges de données (liaison 16 : standard OTAN permettant l'échange de données tactiques), les drones et le concept de système de forces.

⁸³ NDLR : Echec de Rolls-Royce dans l'introduction de fans en fibre de carbone (1970), empennage en bore du Mirage F1, caisson de dérive et élevons des Mirage 2000, puis aviation civile. Le début des années 90 a vu l'introduction des fibres carbonées sur les fuselages puis les structures caissons.

5.9 Dualité civile / militaire dans les moteurs aéronautiques

Les compétences scientifiques et techniques nécessaires à la maîtrise du domaine concernent :

- les matériaux pour application haute température;
- les technologies de refroidissement associées;
- l'aérothermodynamique et la combustion des écoulements instationnaires dans les turbomachines;
- l'aéroélasticité des structures;
- les capteurs et actionneurs de régulation/pilotage,
- l'intégration de l'ensemble de ces techniques.

La dualité civile / militaire des technologies et des moyens industriels est particulièrement marquée dans l'industrie des moteurs. Les bureaux d'études, les moyens d'essais et les moyens de production sont le plus souvent communs. De nombreux moteurs civils dérivent de moteurs militaires notamment aux Etats-Unis. Cette dualité permet d'améliorer la rentabilité des investissements techniques et humains et de lisser la charge. Il est à noter également que les marchés des turbines à gaz dérivées de l'aéronautique (secteurs de l'énergie et du transport) offrent des débouchés complémentaires à la plupart des motoristes.

En règle générale, un motoriste "majeur" est un industriel qui maîtrise les technologies des "parties chaudes" (compresseur haute pression, chambre de combustion, turbine haute pression) ainsi que la conception et l'intégration de l'ensemble des composants (et en conséquence de la régulation). Il est en outre un acteur majeur sur le marché civil et dispose de la plupart des moyens d'essais nécessaires.

Pour les moteurs civils, la performance globale attendue est différente de celle d'un moteur militaire. Les moteurs militaires privilégient une vitesse d'éjection élevée avec un taux de dilution faible alors que les moteurs civils privilégient l'obtention d'une poussée élevée avec un taux de dilution élevé. La différence s'explique également par les conditions d'utilisation plus variées et plus sévères du moteur militaire compte tenu de la nature de ses missions : les performances pures prises au sens du moteur, en termes de puissance, de poussée, de capacité d'accélérer et de tolérance à accepter des conditions d'alimentation anormales, sont plus élevées pour le moteur militaire. En contrepartie, la durée de vie d'un moteur militaire est moindre que celle d'un moteur civil dont les pièces sont moins sollicitées mais d'un meilleur rendement énergétique afin de privilégier la diminution de la consommation de carburant et la fiabilité. De manière générale, la principale "performance" attendue d'un moteur civil est un coût d'exploitation réduit.

Il existe des spécificités propres à chacune de ces deux familles de moteurs nécessitant des études sans retombées communes : diversité d'utilisation du moteur (opérabilité), cas de la réchauffe ou de la discrétion pour le moteur militaire d'avion de combat, des nouvelles chambres "antipollution" pour les moteurs d'avion civil. Les contraintes d'intégration à l'aéronef sont également différentes. Les besoins militaires déterminent les avancées technologiques qui servent de base au succès des programmes civils.

En revanche, en raison de la taille et des caractéristiques du marché militaire, le maintien d'une capacité de développement et de production doit s'appuyer sur le marché civil pour donner lieu à une activité économique rentable. La branche militaire profite alors de cette structure industrielle pour les phases de développement, de fabrication et de mise au point, voire de commercialisation et d'après-vente pour le maintien en condition opérationnelle (MCO). Compte tenu de la réduction des programmes militaires, le potentiel industriel qui garantit la capacité de production ne peut être maintenu que grâce aux programmes civils.

Le marché est aujourd'hui particulièrement segmenté à partir des paramètres type de mission, type de propulsion et classe de poussée. Le haut niveau capitalistique requis pour cette industrie (temps de retour sur investissement d'environ 20 ans pour une famille de produits) conduit désormais l'industrie des moteurs d'avions et d'hélicoptères à de nombreuses alliances industrielles, à l'échelle mondiale, qui varient en fonction des opportunités et des gammes de produits. Cette industrie évolue dans le domaine civil de plus en plus vers la vente de service (fourniture d'heures de vol) : cette tendance s'amorce dans le domaine militaire, freinée essentiellement par les contraintes opérationnelles (dommages de guerre, contraintes de projection, etc.).

6 Sigles

ACARE	Advisory Council for Aeronautics Research in Europe
AR	Avion régional
ARJ ou ARJ-21	Advanced Regional Jet for the 21st century (projet chinois)
ATM	Air Traffic Management
CC	Avion court courrier
CCIV	Chambre de Commerce et d'Industrie de Versailles
CDV	chaîne de la valeur
CETIM	Centre Technique des Industries Mécaniques
CFM	Association de General Electric et Snecma dans les moteurs de 18000 à 50000 livres de poussée
CTA	Certificat de transport aérien
DAB	Divertissements à bord (équivalent français de IFE)
DRIRE	Direction Régional de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement
EASA	European Aviation Safety Agency
EAU	Emirats Arabes Unis
EHA	Actionneur Electro Hydraulique
ETOPs	Extended range Twin-engine OPERATIONs
FAA	Federal Aviation Administration, organisme gouvernemental US
FMS	Flight management system
GTF	Geared Turbo Fan
IAE	International Aero Engines, consortium concurrent de CFM
IFE	In-Flight Entertainment
JAEC	Consortium réunissant les sociétés japonaises IHI, MHI et KHI
KPT	kilomètres x passagers transportés)
LC	Avion long courrier
LCC	Life Cycle Cost
MC	Avion moyen courrier
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MOI	Maître d'œuvre industriel
MRJ	Mitsubishi Regional Jet
MRO	Maintenance, Repair & Overhaul (MCO en français)
MTU	MTU Aero Engines (Motoren und Turbinen-Union)
NADCAP	National Aerospace and Defense Contractors Accreditation Program
NSR	New Short Range (soit la future génération d'avions courts courriers)
OACI	Organisation de l'aviation civile internationale
OMC	Organisation mondiale du commerce
PIPAME	Pôle interministériel pour la prospective et l'anticipation des mutations industrielles
PN	Personnel Navigant
POA	Power Optimised Aircraft, programme européen
REACH	Registration, Evaluation and Authorisation of Chemicals
RRSPs	Risk and Revenues Sharing Partners
SESAR	Single European Sky ATM Research pilier technologique du

programme Ciel Unique

TGV Train grande vitesse

VIVACE Value Improvement through a Virtual Aeronautical Collaborative
Entreprise

VLJ Very Light Jets (jets privé à bas coût)

7 Bibliographie

- Travaux du consortium VIVACE

<http://www.vivaceproject.com>

VIVACE (Value Improvement through a Virtual Aeronautical Collaborative Entreprise) est un consortium européen qui vise à répondre aux objectifs de la "Vision 2020" formulés par l'ACARE, le "Conseil pour la Recherche Aéronautique en Europe". Les travaux de VIVACE se sont terminés en 2007, le site du consortium sera maintenu jusqu'en 2012. Les travaux de VIVACE couvrent la façon dont l'industrie doit se préparer pour répondre aux objectifs 2020. L'évolution des outils et des méthodes y est notamment évoquée. Les aspects "coût sur le cycle de vie" et "modélisation de la chaîne d'approvisionnement" ont été explorés dans le cadre de ces travaux. Les aspects chaîne de la valeur ont été explorés essentiellement dans le secteur des moteurs (cf. les deux liens et références cités dans le § 3.1 du rapport).

- Travaux du MIT Aerospace Computational Design Laboratory

<http://acdl.mit.edu/>

L'ACDL est un laboratoire du département aéronautique et astronautique du MIT. Il a pour mission d'améliorer la conception des systèmes aérospatiaux à travers la promotion de méthodes de calcul et d'outils d'analyse multidisciplinaire et d'optimisation. Etudiant des systèmes de transport aérien, l'ACDL est amené à s'interroger, même si ce n'est pas le cœur de ses travaux, sur les modèles économiques sous-jacents. Plusieurs liens avec des sujets proche des chaînes de valeur sont cités dans le §3.2 du rapport.

- National plan for aeronautics research and development and related infrastructure

<http://www.ostp.gov/galleries/defaultfile/Final%20National%20Aero%20RD%20Plan%20HIGH%20RES.pdf>

Ce plan qui a été publié en décembre 2007, peut être considéré comme l'équivalent américain de Vision 2020

- Out of the box Part 2 (ideas about the future of air transport)

Cette étude a été menée sous contrat ACARE et financée par la Commission. Le rapport évoque des pistes très futuristes pour l'évolution des avions et du transport aérien.

- ACARE (Advisory Council for Aeronautics Research in Europe)

<http://www.acare4europe.com/>

L'ACARE, le conseil consultatif pour la recherche aéronautique en Europe a été mis en place en juin 2001, comme l'avait recommandé le rapport "Vision 2020" réalisé en janvier 2001 par un groupe de personnalités du secteur rassemblées autour de Philippe Busquin, Commissaire en charge de la recherche en Europe. Ce conseil a tout d'abord confirmé les deux objectifs de haut niveau de la vision 2020 : répondre aux besoins de la société en terme de transport aérien plus efficace, plus sûre et respectueux de l'environnement, et assurer la compétitivité de l'industrie aéronautique européenne. Les réflexions de ce comité ont été poursuivies au sein d'ACARE, qui a établi un agenda stratégique récapitulant l'ensemble des actions de recherche à mener pour permettre au système de transport aérien de relever les défis auxquels il aura à faire face d'ici 2020. De nombreux documents sont téléchargeables sur le site, voir en particulier la présentation de la vision 2020 : <http://www.acare4europe.com/docs/Vision%202020.pdf>

- Site de la FAA (Federal Aviation Administration)

<http://www.faa.gov/>

De nombreux documents sont disponibles sur ce site, voir en particulier le lien suivant "Roadmap for performance-based navigation" : http://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/avs/offices/afs/afs400/rnp/media/RNProadmap.pdf?CFID=64670506&CFTOKEN=c896e1d6712d772c-48E55797-1372-4132-8DEC9D446955C164@jsessionid=f830cf21a9087f485d2d

- Airbus : Global Market Forecast 2006/2025

http://www.airbus.com/fileadmin/documents/gmf/PDF_dl/00-all-gmf_2007.pdf

Etude du marché à 20 ans

- Boeing : Current Market Outlook 2007/ It's 20 years into the future

http://www.boeing.com/commercial/cmo/pdf/cmo7_summary.pdf

Etude du marché à 20 ans

- JTI Clean Sky

http://www.cleansky.eu/index.php?arbo_id=83&set_language=en

Pour partie il s'agit de la déclinaison du programme de recherche ACARE 2020. Clean Sky est une initiative technologique commune visant à

développer des technologies de rupture pour réduire significativement l'impact du transport aérien sur l'environnement.

- Compte-rendu des entetiens de Toulouse d'avril 2008

<http://www.entretienstoulouse.com/>

Publication du collège de Polytechnique qui évoque a travers le compte-rendu des entretiens de 2008 les grands sujets technologiques du secteur aérospatial

- Site de la DPAC

http://www.aviation-civile.gouv.fr/html/actu_gd/act_int.htm

Site sur lequel on retrouve les références des publications de la DPAC

