

3 L'INDUSTRIE AERONAUTIQUE – ANALYSE 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.

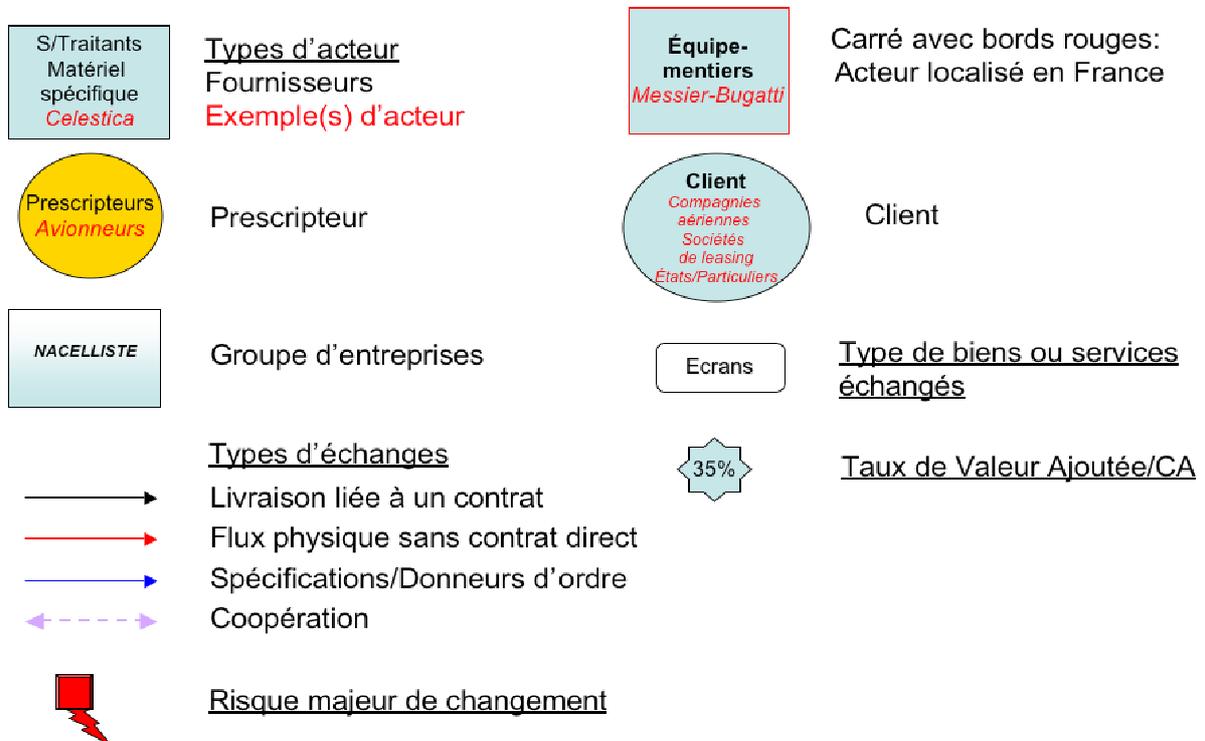
La liste retient ainsi les secteurs suivants :

- 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 grand 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 :

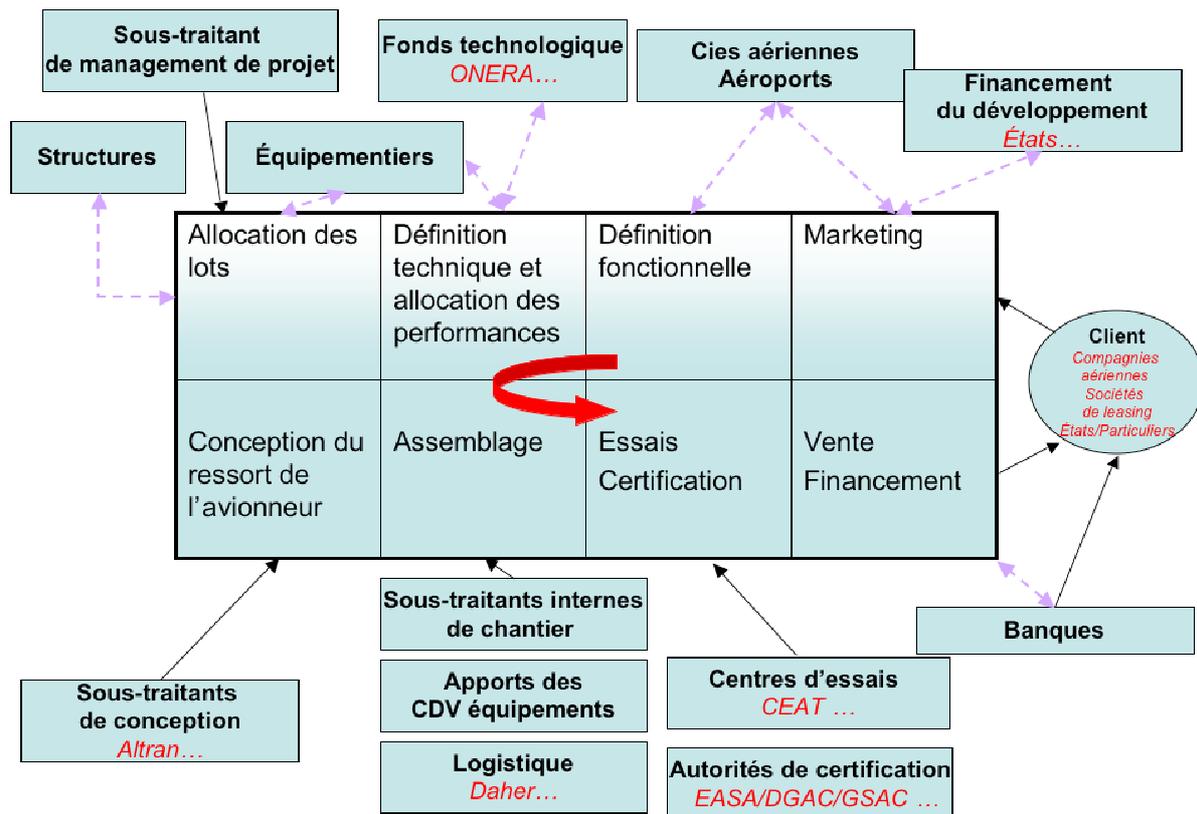


3.1 Architecture – Maîtrise d'œuvre industrielle

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

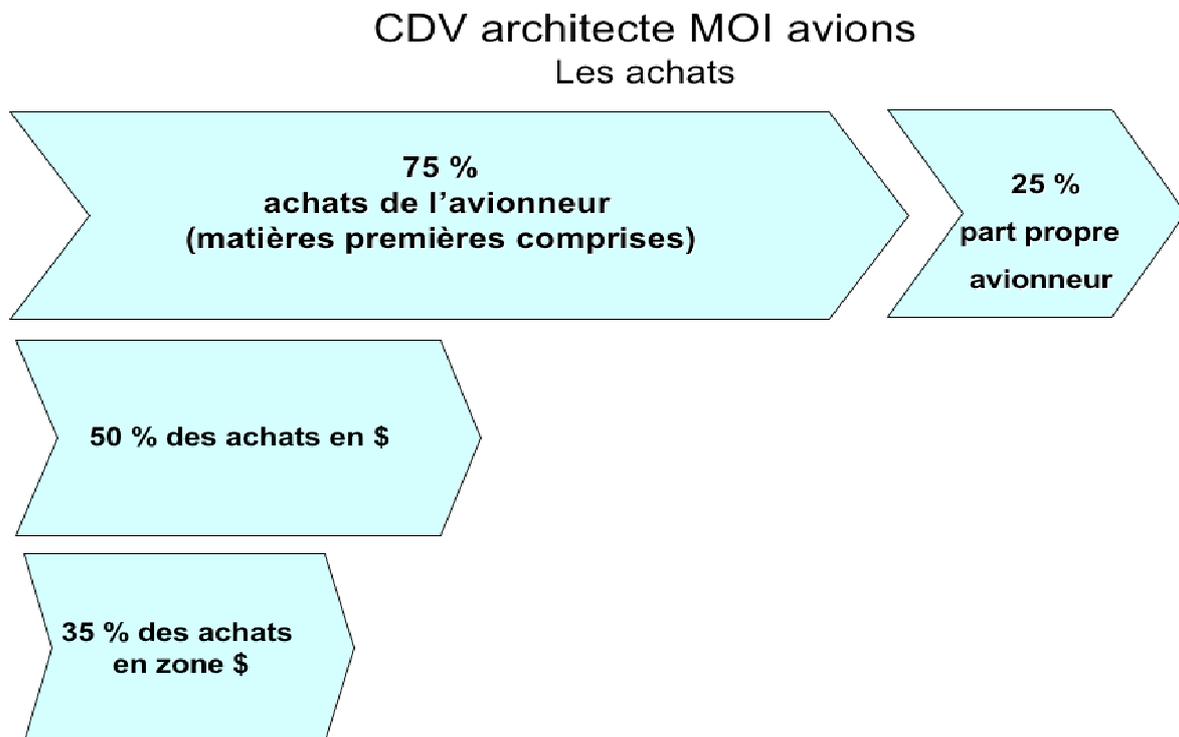
compagnies. Les liens et notamment les liens contractuels entre l'architecte maître d'œuvre industriel et ses fournisseurs sont donc spécifiques à chacune des CDV concernées.

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 le même que celui de l'industrie manufacturière en général soit 25 %²⁷. Il est souligné que si 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.

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 »

<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 environnementaux (réduction du bruit, de la consommation et des émissions de CO2 et NOx). 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 affaires 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 operation³⁰ » 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 : prédimensionnement 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.

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

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 ;
- 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.

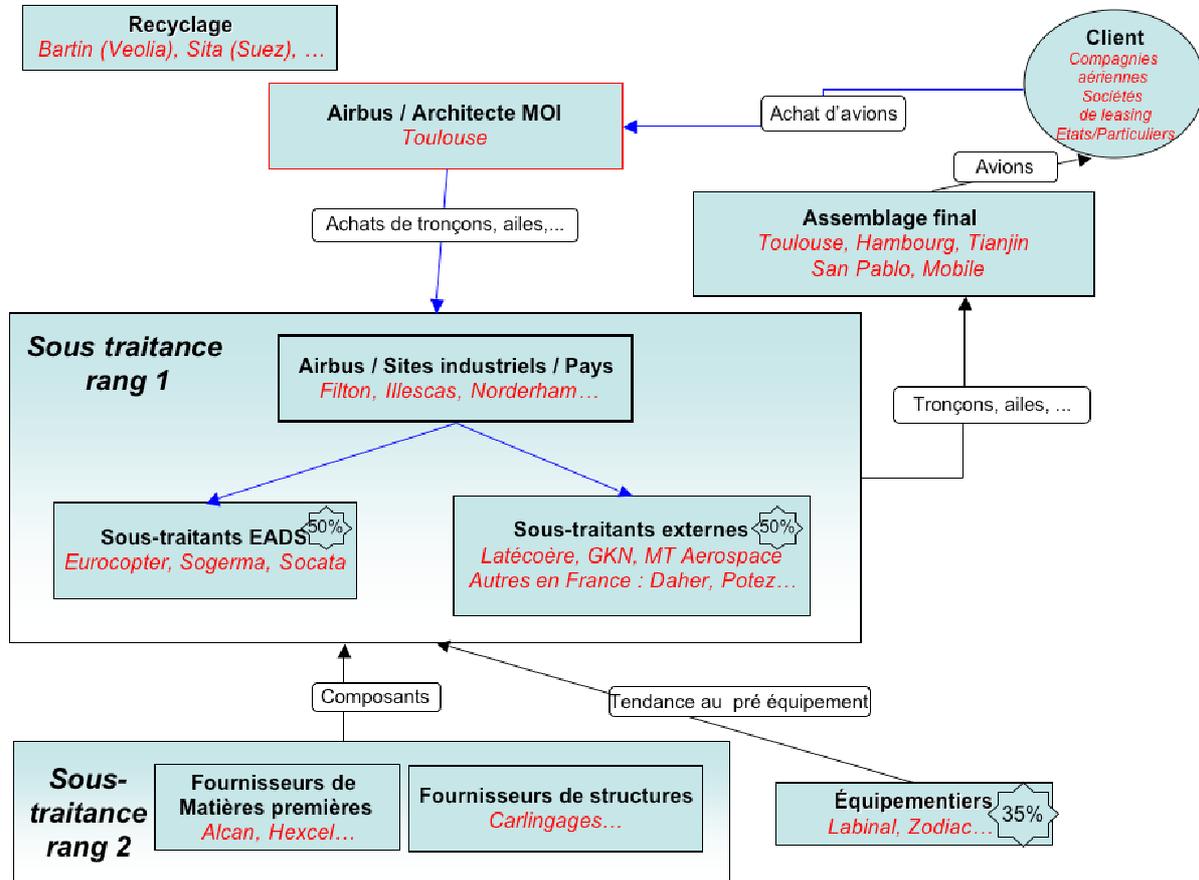
Sans oublier la question du potentiel de développement d'Airbus et plus globalement d'EADS dans le militaire et notamment aux USA qui dépasse le cadre de la présente étude.

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.

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 pas 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.

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, Broughton, Filton, Getafe, Illescas, Puerto Real.

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 concernent le projet A350 :

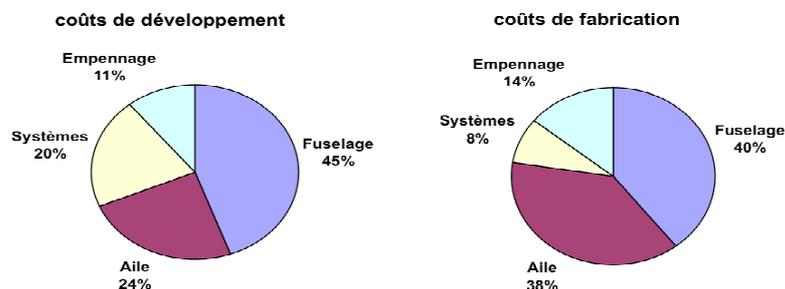
- 53% de composites / 19% d'alliages d'aluminium ;
- 15% du programme pourrait aller à la Chine, la Corée et la Russie.

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 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

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

L'assemblage final (toutes spécialités comprises) ne représente que 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.

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

3.2.3 Problématiques pour le futur

Les risques liés à l'introduction massive d'une nouvelle technologie (les composites) dans une activité comme le transport aérien ne peuvent être négligés⁴². La tenue des grandes structures composites lors d'événements 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 valeur⁴³.

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 main 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 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.

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.

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.

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

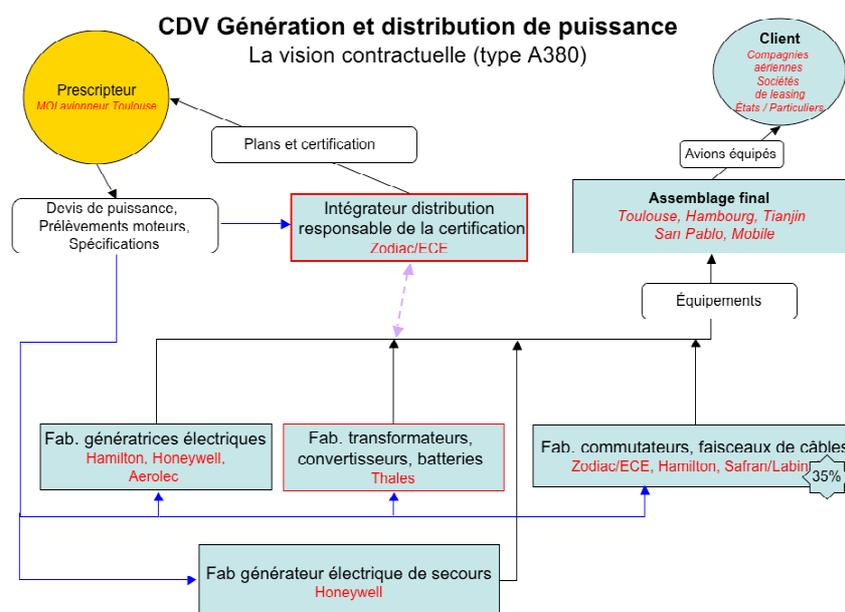
3.3.1 Situation actuelle

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.



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

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

- 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.

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 ou 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 reconverter⁴⁸.
- 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.

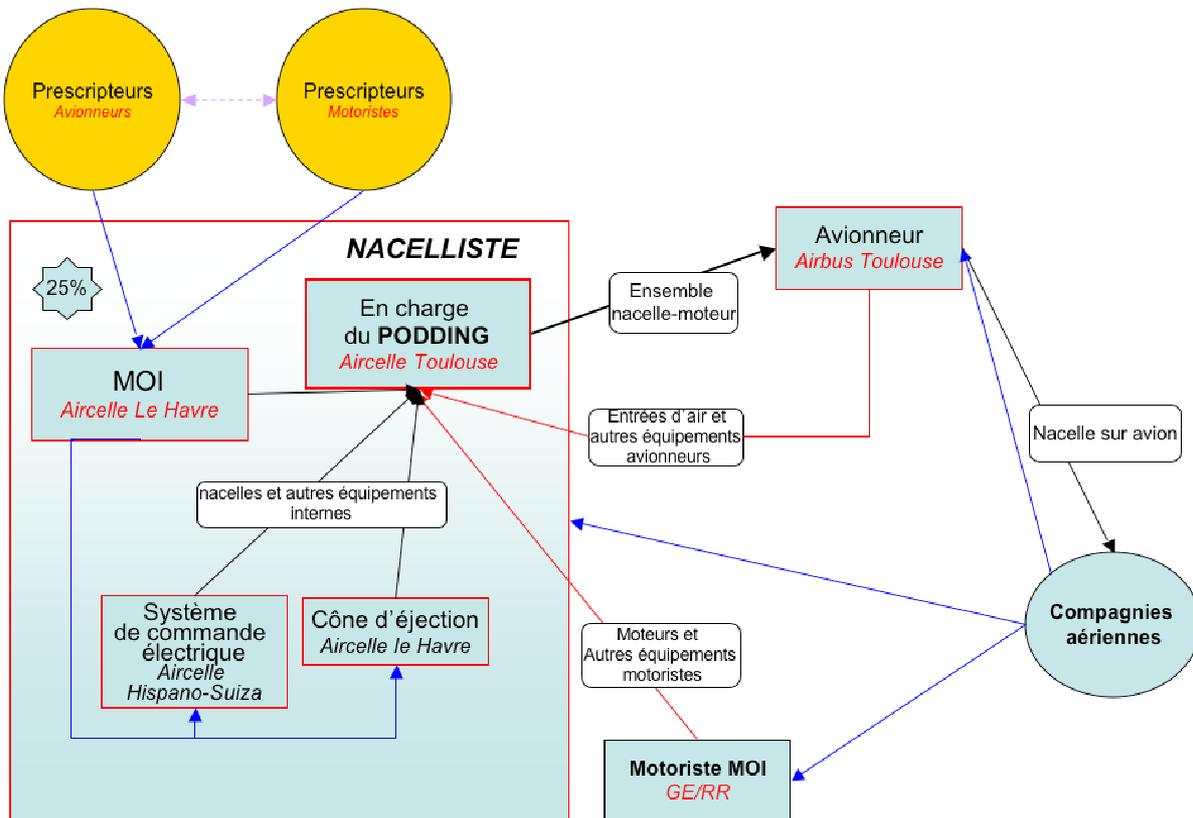
⁴⁷ La commutation primaire reste mécanique ou électromécanique

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.

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.



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 équipés 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.

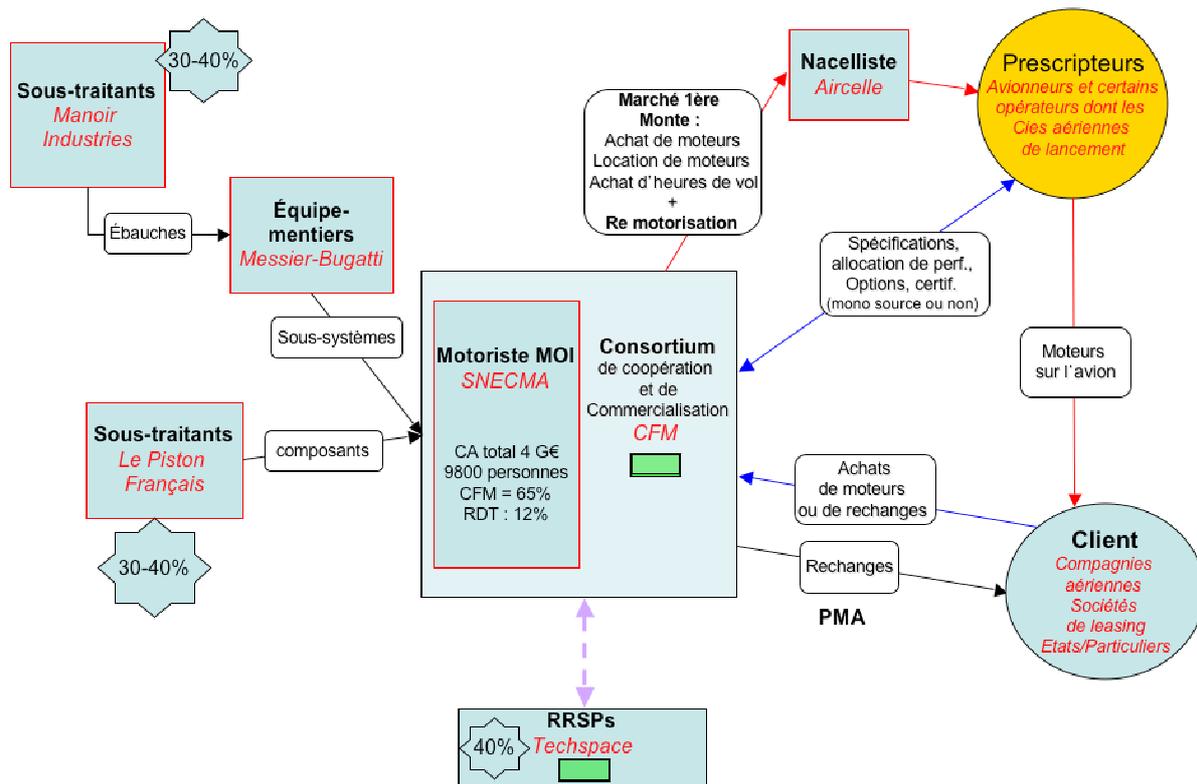
Ces fonctions devront faire l'objet d'une redistribution vers l'avionneur et le motoriste.

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 prééquipement 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 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

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

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 tout nouveau programme. Les motoristes fonctionnent sur un modèle économique qui les rend dépendant 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 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 NOx). 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

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

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

- qui suppose de nouveaux matériaux),
 - prémélange air-carburant,
 - optimisation du mélange (approche du point stœchiométrique),
 - allumage plasma,
- sur la transmission de la puissance
 - pales contrarotatives
 - réducteurs de forte puissance
- sur les matériaux
 - introduction de nouveaux matériaux (Composites à Matrice Céramique...)
 - sur les pièces mécaniques, les carters et arrières corps,
 - utilisation de fans composites
- sur les sous-ensembles
 - 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 terme 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 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 pénétrer 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 la 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.

⁵² Geared Turbo Fan

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 terme 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. 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 leurs marges et à être présent dans les solutions de remplacement⁵⁵.

3.6 Trains d'atterrissage

3.6.1 Situation actuelle

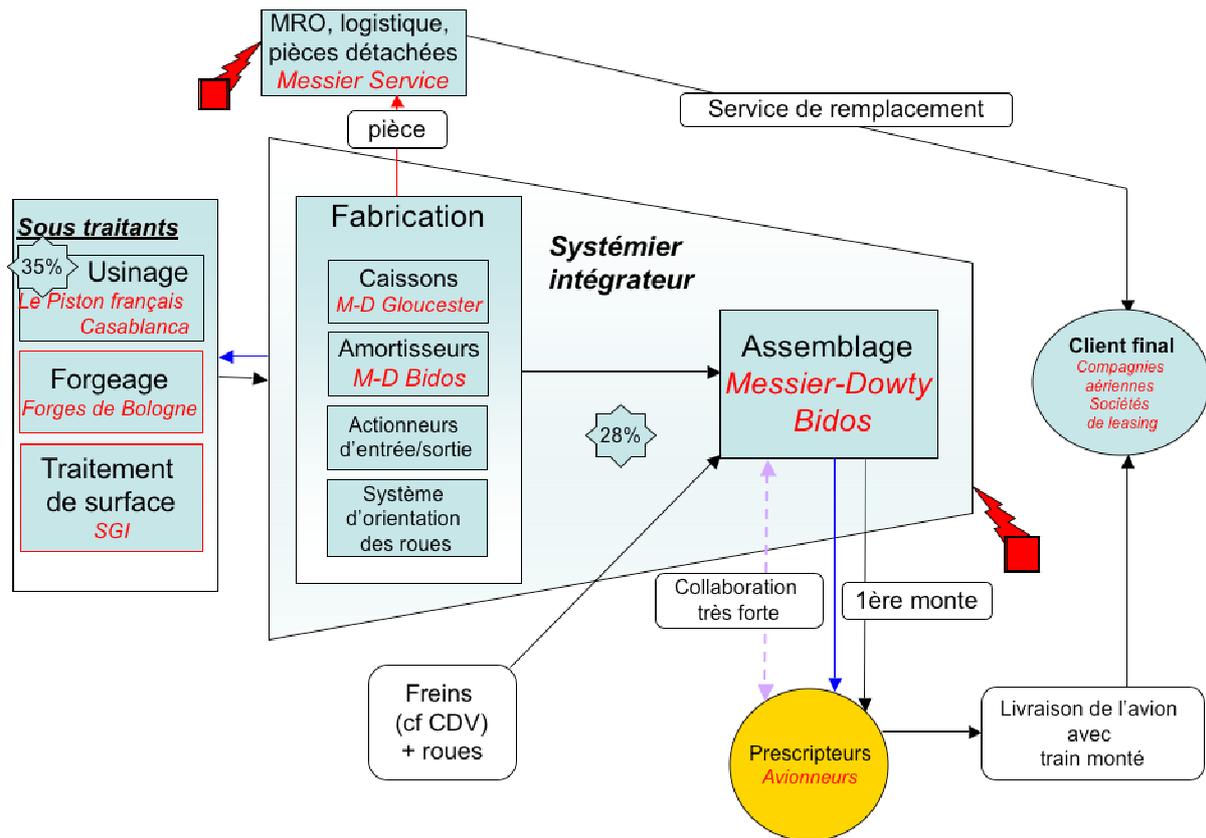
Le duopole Messier-Dowty – Goodrich pourrait être menacé par Liebherr. L'offre de trains d'atterrissage dans les avions commerciaux est dans les mains d'un duopole avec la société Messier-Dowty (filiale de Safran) et l'américain Goodrich. Ces deux entreprises possèdent une gamme complète de trains d'atterrissage (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.

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.

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).

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.

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

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 :

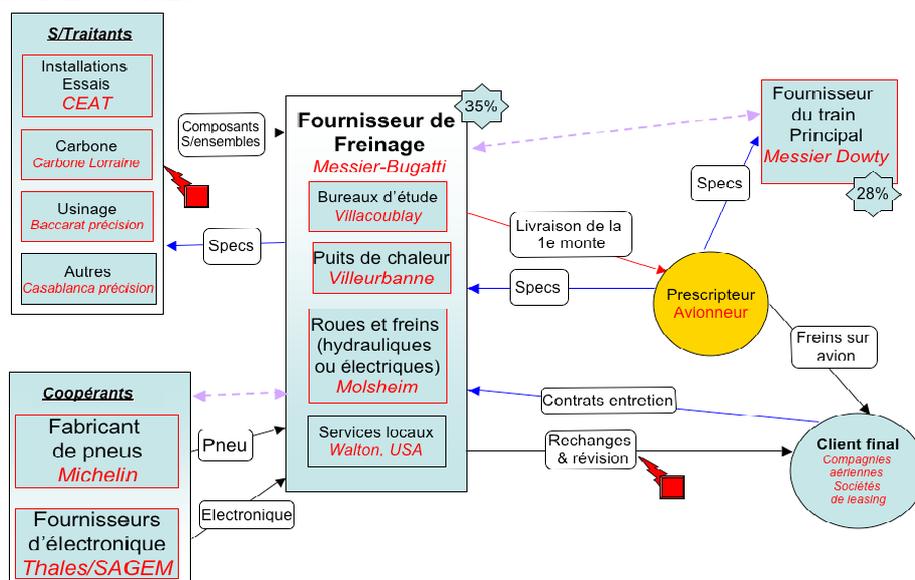
- Volonté de Liebherr de pénétrer le marché des avions de plus de 100 places ;
- Création d'un nouveau concurrent ex-nihilo issu par exemple du programme d'avion 100% chinois. Cette dernière hypothèse ne peut être totalement écartée à long terme⁵⁷.

En ce qui concerne le marché des pièces de rechange 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.

3.7 Freins

3.7.1 Situation actuelle



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

⁵⁸ Le reconditionnement 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.

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

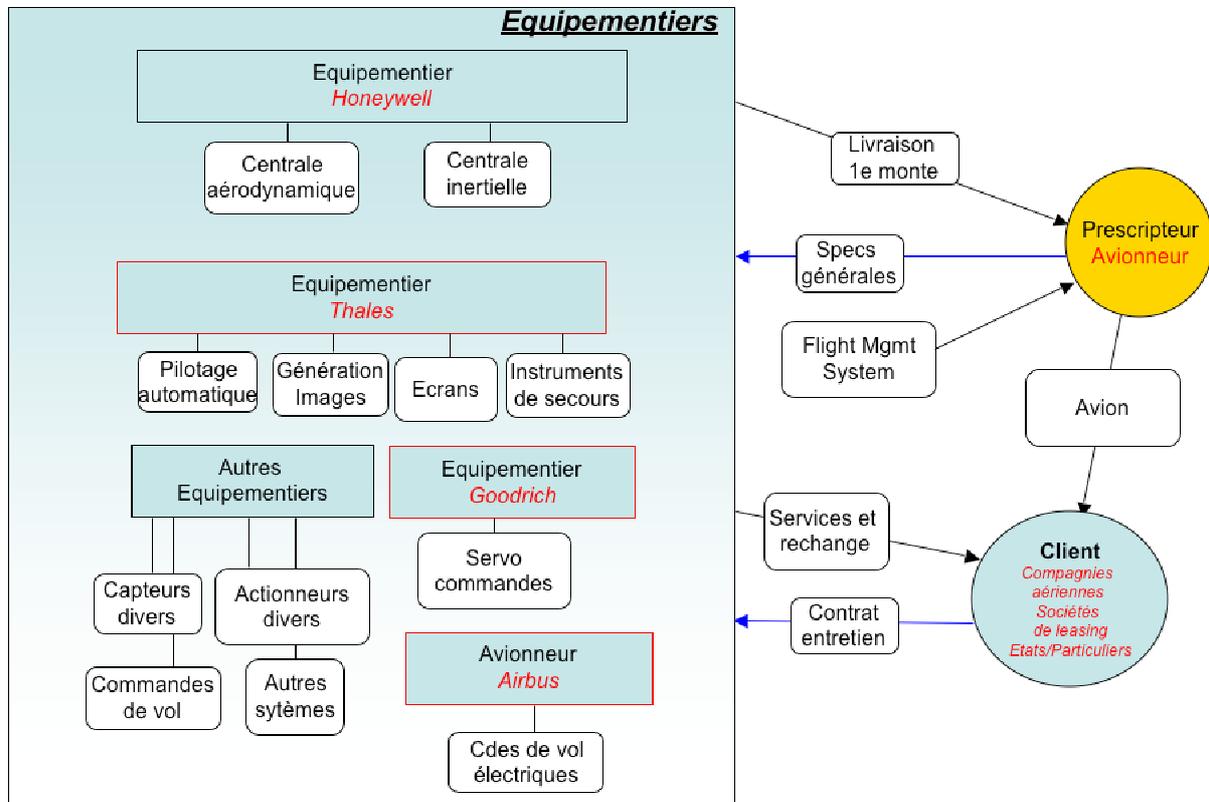
Le premier de Messier-Bugatti ou Goodrich qui aura mis au point le freinage par disques céramiques aura un avantage concurrentiel déterminant.

Les constructeurs étudient le remplacement des disques « carbone-carbone » par des disques en céramique, capables 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.

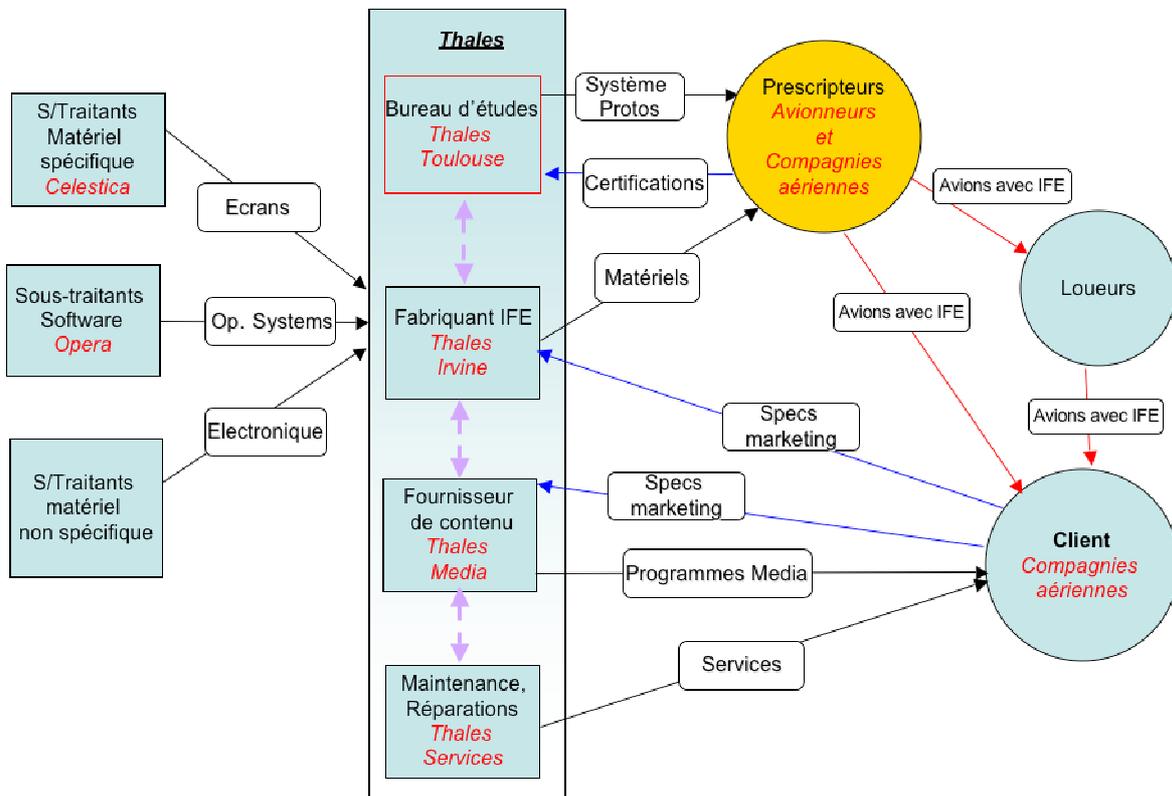
Certes, nous avons abordé ici la seule question du pilotage (FCS pour Flight Control System) qui est à différencier de la fonction navigation (FMS), néanmoins via la conception avionique modulaire intégrée il y a un lien au plan industriel.

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 technologique 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.
-

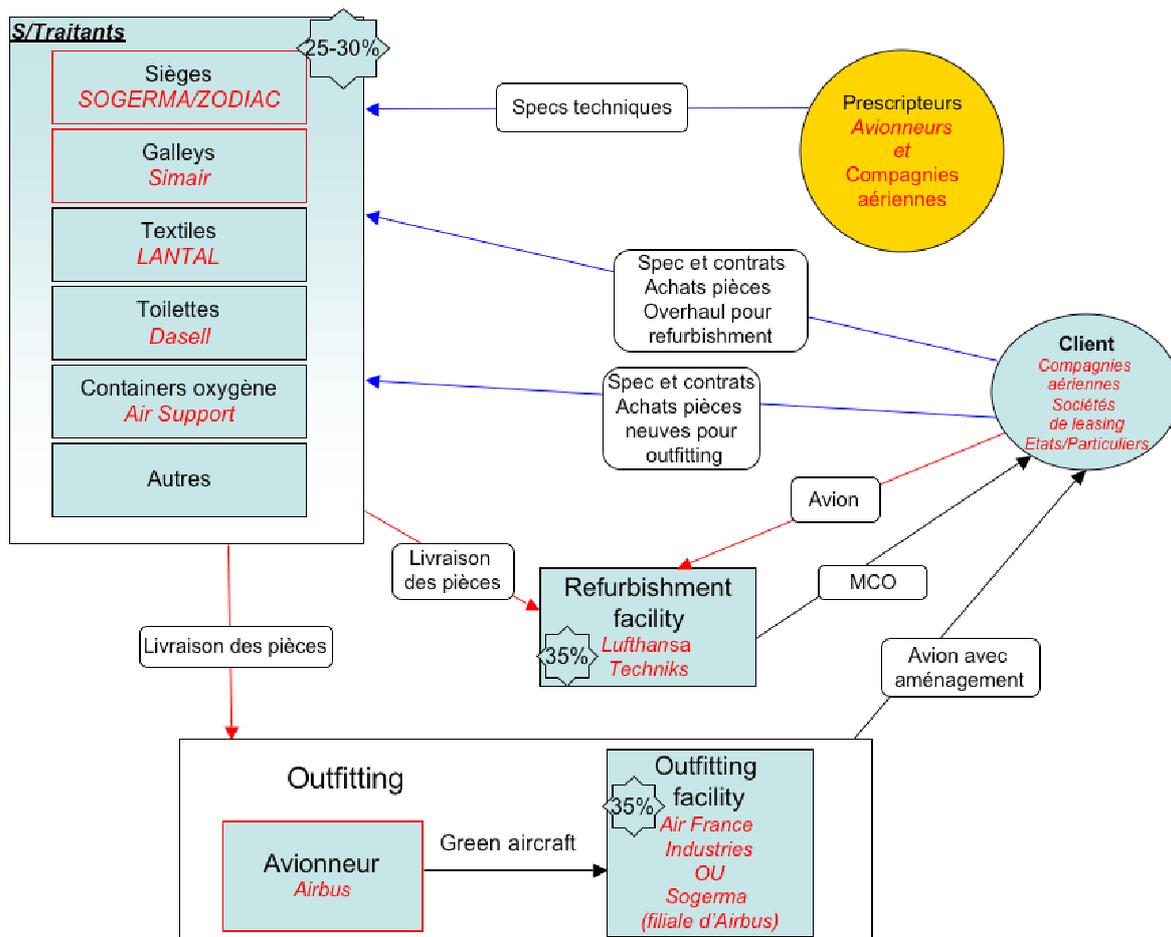
Pour un acteur de l'avionique modulaire, il peut néanmoins être important d'être présent sur ses systèmes pour grignoter des positions sur l'avionique en général.

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 maîtres 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 confient 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.

3.10.2 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 présélectionnés. Dans ce cas, les fournisseurs d'aménagements intérieurs n'ont plus le contact avec le client final et l'avionneur développe un service (présélection des fournisseurs, concentration des achats).

3.10.3 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 intérieur des avions d'affaires.