

2 L'INDUSTRIE AERONAUTIQUE – 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'inscrit 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'en 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 pas être immatriculé dans un certain nombre de pays qui ont leurs propres règles de certification (pays européens, États-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 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.

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).

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

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, Pays-Bas, 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 concourir sur les marchés occidentaux.

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.

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 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 subventions 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 ;

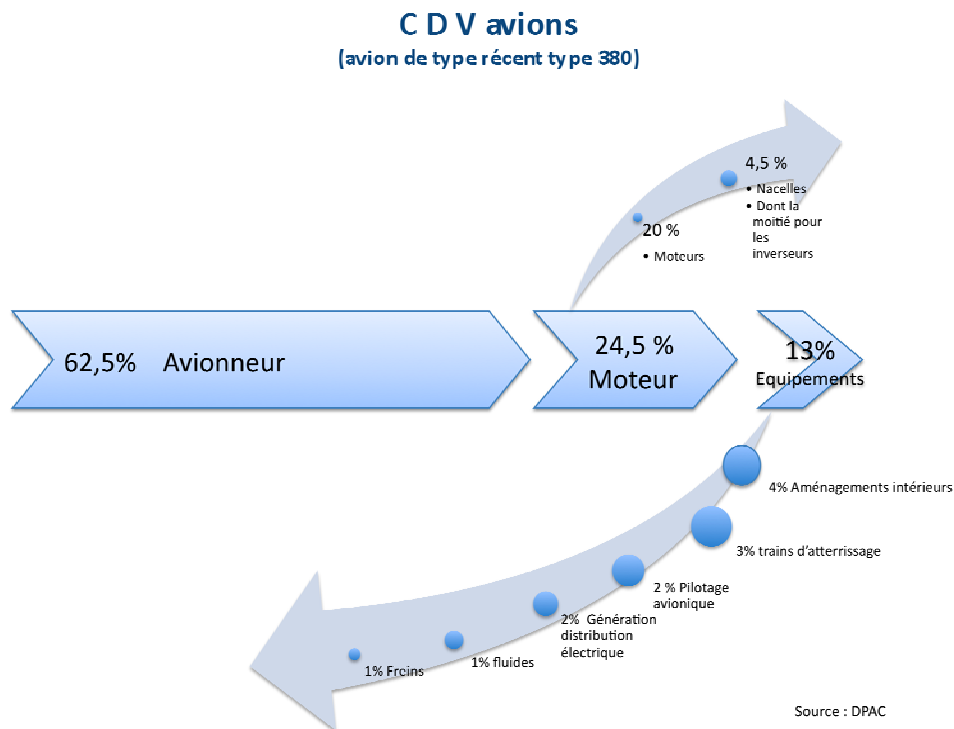
- Le constructeur canadien Bombardier réclame de son côté un financement 1/3 Etat, sous peine de devoir recourir aux délocalisations, le reste étant financé à un tiers par lui-même et l'autre tiers par des partenaires étrangers ;
- Aux Etats-Unis, le transport aérien est considéré comme un enjeu stratégique (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 toutes 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 efficace 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 déterminants 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.

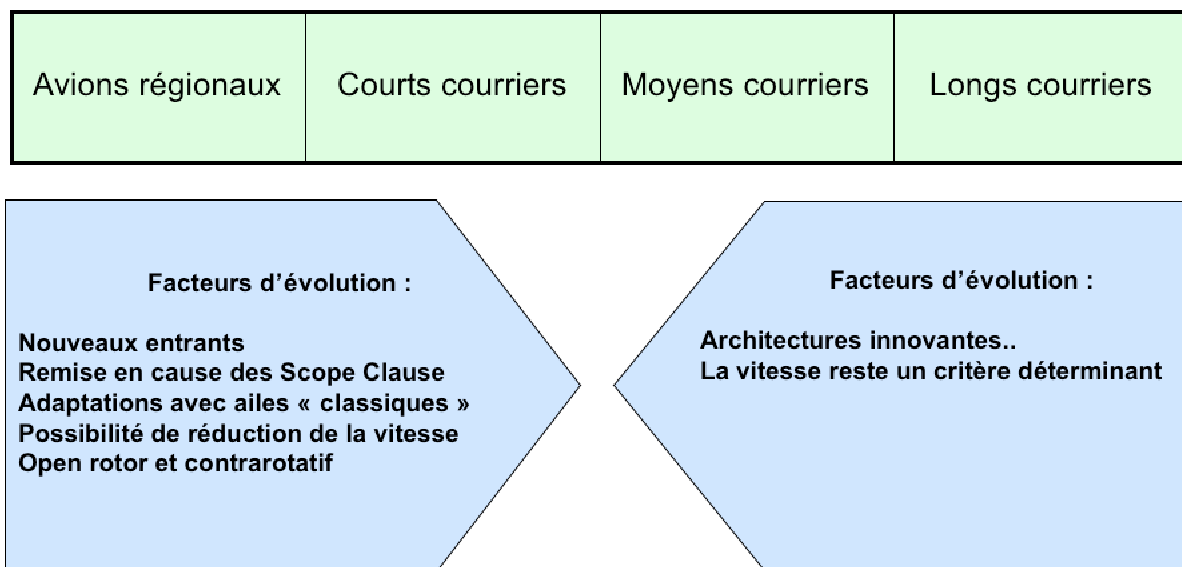
Pour certains, la taille du marché ne justifierait pas la présence d'un troisième avionneur sur la totalité de la gamme.

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), les 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

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.

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.

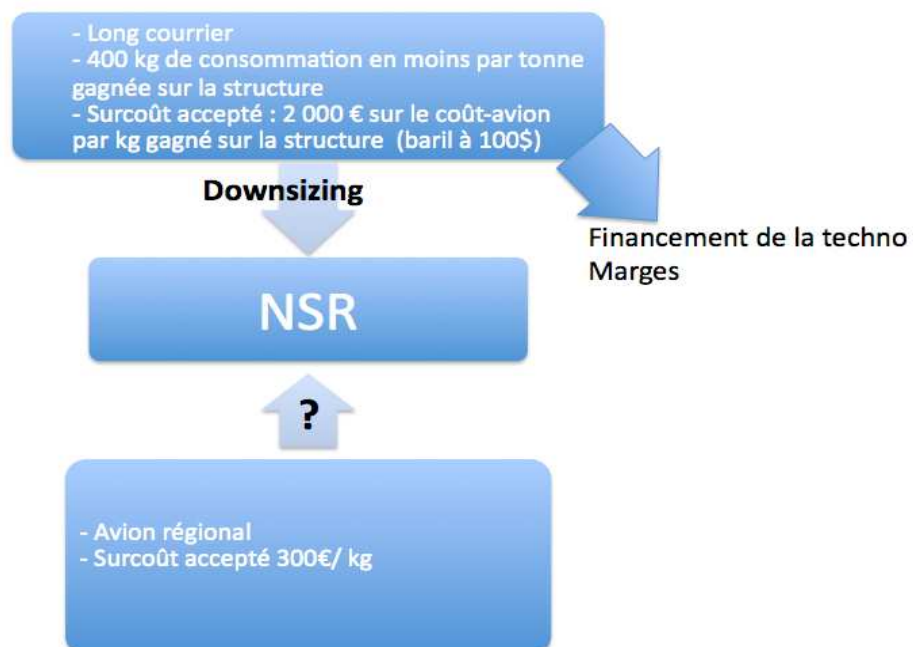
La motorisation des moyens courriers devrait évoluer quant à elle sans rupture (les feuilles de routes existantes permettent de se projeter à 15 ans). Pour les plus longs courriers, les nouveaux moteurs sont attendus vers 2017/2018.

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.

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 ?
- Finalement la spécificité aéronautique et la connaissance du système concerné prévalent-elles 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 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.

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

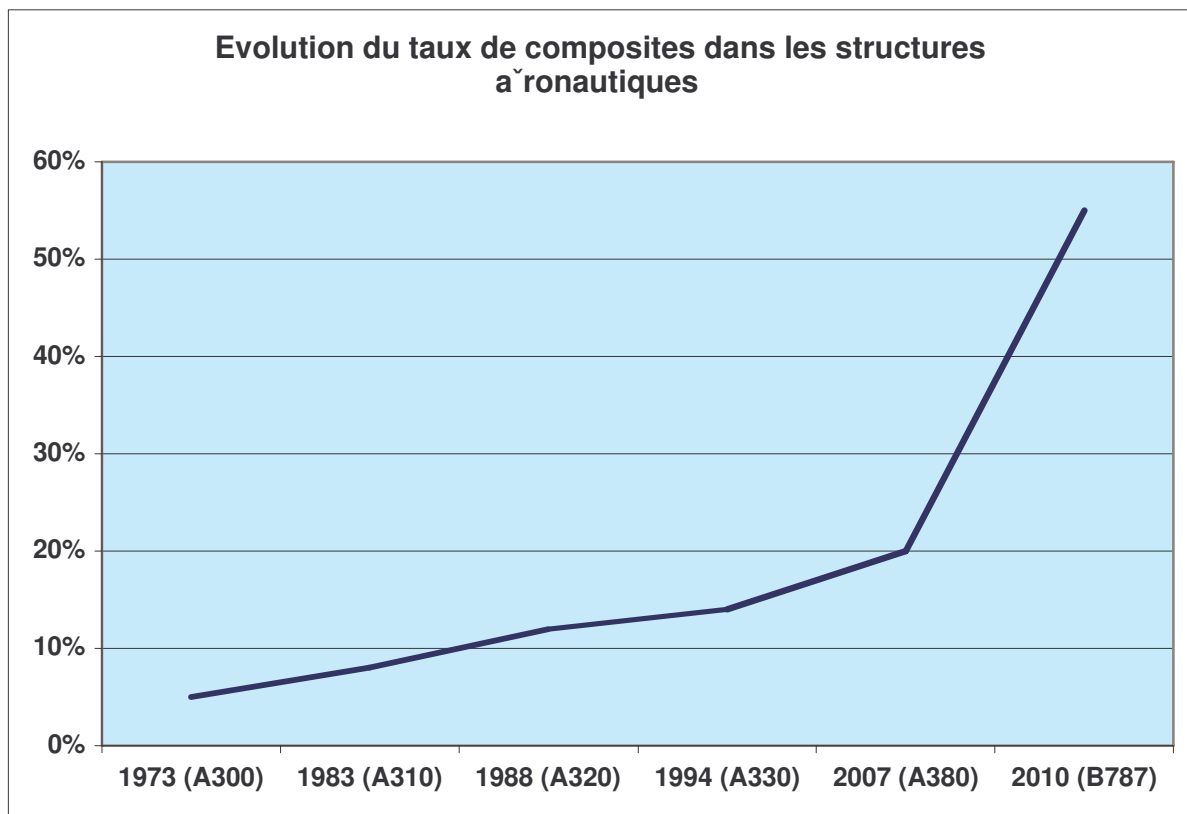
Il convient de conserver présent à l'esprit que le créneau des avions de moins de 300 places potentiellement concerné par ce scénario représente plus de 70% de la demande mondiale en avions neufs.

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 fibres 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 coexister 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 coexister : 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 coexistence 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).

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

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.

(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, 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 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

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.

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

- 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.

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 avec les outils industriels existants.

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

L'objectif est de 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

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.

²³ Source : Airbus Global Market 2007/2025

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 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 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 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 ?

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