

**GR
ES**

*Groupement de
Recherches
Economiques et
Sociales*
<http://www.gres-so.org>

Cahiers du GRES

**Constructeur aéronautique versus architecte-
intégrateur : le nouveau modèle Airbus**

Med KECHIDI

LEREPS – GRES

kechidi@univ-tlse1.fr

Cahier n° 2008 - 11

Mai 2008

Constructeur aéronautique versus architecte- intégrateur : le nouveau modèle Airbus

Résumé

Cet article analyse les dynamiques techniques et organisationnelles qui fondent les stratégies de l'avionneur européen. Le point de vue développé est que le recentrage sur des activités d'architecte-intégrateur, l'accroissement de la décomposition modulaire du processus de construction des avions, l'émergence de firmes-pivot ainsi que les innovations - particulièrement celles portant sur les matériaux composites, l'avionique modulaire intégrée et les systèmes embarqués - sont annonciateurs d'une profonde réorganisation du modèle industriel d'Airbus.

Mots-clés : Airbus, modularité, architecte-intégrateur, firme-pivot, sous-traitance, innovation.

Aeronautical manufacturer versus architect-integrator: a new industrial model for Airbus

Abstract

This article analyzes the technical and organizational dynamics on which the strategies of the European aircraft manufacturer are founded. The point of view developed is that refocusing on architect-integrator activities, increasing modular decomposition of the process of building airplanes and the emergence of hub-firms as well as innovations - particularly those revolving around composites materials, Integrated Modular Avionics (IMA) and embedded systems - indicate a deep reorganization of Airbus' industrial model.

Keywords: Airbus, modularity, hub-firm, innovation, supply chain

JEL : L14 ; L23 ; L93 ; O31

Introduction

Le secteur aéronautique mondial est dans une phase de transformation et d'adaptation rendues nécessaires par de multiples facteurs. Le lancement de Power 8, les changements opérés dans l'organisation de Boeing à partir de 2003, ainsi que la décision de Bombardier de lancer un avion de 110-140 places annoncent des mutations profondes des modes d'organisation industrielle. Si ces transformations sont, en partie, un approfondissement des politiques de recentrage et d'externalisation adoptées au début des années 90, elles augurent également de l'émergence d'un nouveau modèle d'organisation industrielle. Ce modèle s'exprime, notamment, à travers une refonte considérable des relations verticales entre les participants au projet productif, refonte qui rend la notion traditionnelle de sous-traitance de plus en plus inapte à considérer ces nouvelles relations .

L'organisation industrielle actuelle d'Airbus repose sur l'instauration d'une division des tâches au niveau international autour d'un concept industriel basé sur les différents Centres d'Excellence (8 au total), fondée sur les compétences principales de chaque site dans son domaine d'expertise. Chaque site produit une section complète d'avion qui est ensuite transportée dans un site d'assemblage final afin d'y construire l'avion complet. Cette organisation semble tirer les leçons de l'échec du modèle industriel mis en place pour le Concorde et qui impliquait la duplication des sites.

Aujourd'hui, l'organisation la plus courante est de fabriquer les ailes en Grande Bretagne, l'empennage en Espagne, le fuselage en Allemagne, le nez et la section centrale en France. L'assemblage final se fait à Toulouse ou à Hambourg.

Toutefois, cette spécialisation n'est pas parfaitement transversale aux programmes. En effet, selon le type d'avion, la répartition des tâches peut varier. Ainsi, les voilures produites à Chester des A300, A310, A330 et A340 sont d'abord acheminées à Brême pour recevoir des équipements avant d'être réexpédiées à Toulouse pour être montées, tandis que celles de l'A380 ne transiteront pas par l'Allemagne ; les A320 sont assemblés à Toulouse, tandis que les autres appareils de la famille (A318, A319, A321) le sont à Hambourg. Il faut voir dans cette duplication des sites d'assemblage la résurgence régulière des confrontations entre industriels européens, le partenaire allemand souhaitant obtenir la tâche très symbolique de l'assemblage final d'une partie des Airbus pour des raisons de prestige national, mais aussi parce que les compétences techniques et organisationnelles sont bien maîtrisées par les équipes hambourgeoises. L'annonce, dans Power 8, de la réouverture d'une troisième chaîne d'assemblage final pour l'A320 à Hambourg illustre bien ces situations. Elle signale, également, le poids et la prégnance des impératifs politiques dans des prises de décisions industrielles. Ces décisions, notamment de localisation ou celles portant sur le choix des dirigeants, doivent sans cesse être rapportées à l'existence d'un pacte paritaire franco-allemand à l'origine du succès mais également de certains déboires du constructeur européen. Cette décision signale aussi la fin, à terme, des duplications industrielles avec une spécialisation des sites d'assemblage toulousains et hambourgeois par type d'appareils : à Toulouse les gros porteurs long courrier (A330-340, A 380 et A 350) et à Hambourg les A 320 et son futur remplaçant.

Même s'il introduit une organisation plus fonctionnelle et une plus forte intégration horizontale, le plan Power 8 ne remet pas fondamentalement en cause cette répartition des charges industrielles. En revanche, l'impact est réel sur la nature, la densité et le contenu des relations d'Airbus avec les firmes qui participent directement et indirectement à la construction des avions. Cet impact nous semble poser les conditions industrielles et

organisationnelles de mise en place d'un nouveau mode d'organisation des activités aéronautiques.

Au delà des annonces portées par Power 8, la dynamique des relations inter-entreprises dans l'aéronautique est portée par les faits suivants :

- la transformation du contenu et de la nature des relations entre les entreprises comme résultat évolutionniste d'un long processus d'apprentissage;
- la politique de recentrage et d'externalisation progressivement menée et approfondie par Airbus ;
- la modularisation et le développement de l'activité d'intégration de systèmes qui voit émerger un nouvel acteur, la firme-pivot ;
- les processus d'innovation qui ont marqué l'histoire industrielle des programmes ;
- l'évolution du marché avec, notamment, les effets volumétriques que cela induit sur les cadences de production.

Ces faits, qui ressortent de causes et de processus différents, agissent de façon plus ou moins prégnante, mais semblent marquer les mutations de l'activité aéronautique et particulièrement les relations entre Airbus et les firmes qui participent à la production des avions. Nous allons passer en revue ces différents faits et faire ressortir, à chaque fois, leurs incidences sur les dynamiques industrielles du secteur et sur l'organisation industrielle d'Airbus.

1 - De la commande ouverte au partenariat industriel : un processus d'apprentissage

Au fur et à mesure des programmes Airbus s'est mise en place une diversité des liens entre l'avionneur et les fournisseurs dont ne rend pas compte le terme de sous-traitance ni le raccourci donneur-receveur d'ordres. Une approche historique permet de constater que les relations initialement portées par la commande ouverte, sur catalogue ou en fonction d'un cahier des charges prescriptif ont peu à peu évoluées vers des relations de délégation d'une partie des activités d'études et de développement ainsi que vers des partenariats poussés avec des entreprises de premier rang. Ces partenariats portent sur la conception en commun, d'ensembles modulaires complets et complexes. Les formes de contractualisation ont dès lors évolué du simple contrat marchand à des contractualisations plus durables dans lesquelles le partage des risques industriels et financiers occupe une place centrale. On peut identifier trois grandes étapes dans cette évolution, étapes qui correspondent, peu ou prou, au lancement de nouveaux programmes.

Premièrement, les relations verticales inter-firmes sont celles d'un réseau captif au sens où autour des grands donneurs d'ordres gravite un réseau d'entreprises sous-traitantes (Kechidi 1996). L'avionneur, point focal du flux d'approvisionnement, l'est également au niveau de la conception. Il assure en interne la définition globale de l'avion et la conception détaillée des sous-ensembles qui le composent. Pendant longtemps, être un avionneur signifiait maîtriser en interne l'ensemble de la filière y compris au niveau des moyens de production. Les tâches externalisées l'étaient sur la base d'un cahier des charges où l'ensemble de la spécification des produits mais aussi des moyens à utiliser étaient définis par le donneur d'ordres, à l'instar du programme Concorde. Le fournisseur est lié par une certaine dépendance économique en termes de prix et de débouchés. On peut considérer que cette phase couvre les premiers programmes jusqu'à l'A320, en 1984. Elle correspond également à

une période où les effets volumétriques ne sont pas importants. Ainsi, les livraisons d'appareils se montaient à 42 en 1985 et 29 en 1986.

A partir de la fin des années quatre-vingt, avec l'affirmation de la logique de marché (Kechidi & Talbot 2006), les avionneurs commencent à remettre en cause ce modèle de sous-traitance. Les choix effectués anticipent également des montées en cadence importantes (105 appareils livrés en 1989). Dès lors, ils accroissent le recours à la sous-traitance de spécialité, les normes de sélection évoluent vers des aspects plus organisationnels (certification qualité, disponibilités financières) et les cahiers des charges deviennent fonctionnels. Sauf à de rares exceptions - l'électronique embarquée en est une -, l'avionneur reste le centre d'un réseau de sous-traitants qui tend tout juste à prendre une forme plus pyramidale (réduction du nombre de fournisseurs, élargissement des critères de sélection, achat de sous-ensembles et non plus de simples composants). Il conserve la définition détaillée des sous-ensembles dont il ne délègue que marginalement la conception.

C'est durant cette période qu'Airbus met en place les distinctions qui vont organiser ses relations avec les sous-traitants. Ainsi, les travaux externalisés sont classés en sous-traitance majeure et sous traitance classique (Larré 1994).

La sous-traitance majeure concerne les prestations de "Sous-Traitance Globale" et de "Sous-Traitance Globale de Production". Concrètement pour les sous-traitants concernés, cela suppose :

- la prise en charge de l'ensemble des opérations depuis la conception (Sous-Traitance Globale uniquement) jusqu'à la livraison des éléments pour montage;
- la participation financière au programme;
- le développement de capacités internes de suivi et d'application des évolutions de définition des produits,
- le suivi des ensembles livrés (rechange, dépannage, entretien.),
- la constitution d'un réseau d'approvisionnement et de sous-traitance en accord avec le donneur d'ordres.

La qualité de sous-traitant majeur implique une prise de risque (industriel, financier et commercial) importante dans la mesure où les décisions sont prises en amont et engagent l'activité à long terme. La sous-traitance classique est générée soit par l'insuffisance, chez le donneur d'ordres, de moyens de production matériels ou humains (Sous-Traitance de Capacité ou Conjoncturelle), soit par l'absence de ces moyens (Sous-Traitance de Spécialité et Sous-Traitance de travaux à façon). Elle revêt une forme systématique ou conjoncturelle. Ces types de sous-traitance peuvent concerner des activités diverses (fabrication, outillage, études, informatique, activités d'ingénierie...).

Dans tous les cas de figure, la relation avec Airbus, notamment à partir de la Nouvelle Démarche Industrielle de 1992, est subordonnée, à côté de l'exigence de qualité et la compétitivité prix, au renforcement de la capacité des participants, de quelque niveau que ce soit, à faire des propositions techniques à l'avionneur et à les prendre en charge en terme de processus industriel. Cette phase est un approfondissement de la modularisation des processus techniques. Elle répond également à une volonté de rationaliser l'appareil de production pour faire face à des échéances de livraisons de plus en plus serrées : en 1998 Airbus a livré 229 appareils alors qu'il n'en a livré que 123 trois ans auparavant.

Sous le jeu de plusieurs facteurs, une nouvelle étape se fait jour actuellement autour des programmes A380 et A350. On note une profonde évolution de l'objet avion qui se

complexifie tant dans ses composants que dans les processus de fabrication. Aussi l'avionneur tend-il à se recentrer sur ses compétences foncières et à se borner à un rôle d'architecte, conservant l'industrialisation des pièces de structure. A cela s'ajoute qu'au niveau organisationnel, la délégation croissante - en œuvre à partir des années quatre-vingt-dix - a permis aux fournisseurs de développer leurs capacités à intervenir en conception alors même que s'est effectué un apprentissage mutuel du travail le long de la filière. De plus, afin de faire face à des dépenses de R&D toujours croissantes - dans un contexte de plafonnement du potentiel des ressources traditionnelles - les constructeurs recherchent des économies en coût et en temps dès la phase de développement du produit jusqu'au service après-vente. Dès lors, la mobilisation de l'ensemble des ressources disponibles, en particulier celles présentes chez les fournisseurs, devient un élément fondamental de la chaîne de valeur.

Le moyen de cette mobilisation a été la généralisation des principes organisationnels de l'ingénierie concourante. Il s'agit, dès la phase de conception de l'avion, d'intégrer la totalité des phases du cycle de vie et, dès lors, de faire interagir l'ensemble des participants au processus. Pour Igalens et Vicens (2006), cette démarche dite ACE «Airbus Concurrent Engineering» a débuté en 1995 avec pour objectifs de raccourcir le cycle de développement de 30% et de réduire les coûts de production sur toute la durée de vie de l'avion. Elle s'est poursuivie en 1999 dans le cadre d'un programme européen «Enhanced Aeronautical Concurrent Engineering». L'objectif était de définir de nouvelles façons de travailler dans l'ensemble de la filière pour améliorer la compétitivité du secteur par la recherche de standards méthodologiques applicables tout au long de la chaîne d'approvisionnement¹. Elle se développe aujourd'hui avec le module Develop Faster de Power 8 qui vise à ramener le cycle de développement de 7,5 à 6 ans et à améliorer la productivité de l'ensemble de l'ingénierie de 15% d'ici à 2010. En mettant en place des méthodes, des processus et des outils communs pour l'A 350 XWB, à la fois pour Airbus et l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement, ce module vise au final la mise en place d'une véritable conception d'avion numérique intégré.

2 - Recentrage et externalisation

Airbus et Boeing ont changé de façon radicale leur façon de construire et développer de nouveaux avions. Par le passé, les constructeurs aéronautiques concevaient, réalisaient et fabriquaient leurs appareils dans une très large mesure en interne. Aujourd'hui, ils confient de plus en plus le design et la conception de parties entières de l'avion à des sous-traitants. Ils passent ainsi du statut industriel de « constructeur aéronautique » à celui « d'assembleur de système». Boeing sous-traite plus de 70 % des pièces de son Dreamliner. Airbus envisage la même approche pour l'A350 XWB, en sous-traitant 50 % des tâches de l'aérostructure à des entreprises externes y compris celles implantées dans des pays à bas coûts ou en zone dollars.

Clairement, le « Nouvel Airbus » annoncé par Power 8 est fondé sur un recentrage des activités sur le coeur de métier de l'entreprise. Ces activités sont définies comme celles englobant l'architecture globale cabine et avion, l'intégration des systèmes, l'assemblage, la customisation ainsi que les essais des équipements et autres composants jugés déterminants pour l'intégrité et la sécurité des appareils. En renforçant son statut d'architecte-assembleur, Airbus se positionne à l'amont et à l'aval de la chaîne de valeur. Toutes les activités jugées stratégiques au plan technologique, industriel et commercial sont internalisées. Ce

¹ « Les mutations dans le secteur aéronautique. Le cas d'Airbus en Midi-Pyrénées » MIRE, Lirhe 2006, p 4.

mouvement de recentrage sur le métier de base d'avionneur se traduit par un accroissement important de l'externalisation des activités jugées non stratégiques. L'externalisation n'est pas une donnée nouvelle dans la politique des achats industriels d'Airbus. L'élément nouveau est que cette externalisation touche de nouvelles activités et/ou concerne des volumes importants. La segmentation stratégique des achats qui commence à émerger comme mode d'organisation de l'outsourcing repose sur quatre niveaux :

- l'aérostructure
- les équipements,
- les systèmes
- les composants et équipements aéronautiques

L'externalisation concernera des pans entiers de l'aérostructure, à l'image de Boeing qui en réalise à l'extérieur plus de 80%. Ainsi, selon les dirigeants d'Airbus, pour le programme A 350 XWB, 50% de l'activité aérostructure sera externalisée contre 25% initialement prévu.

Au-delà des raisons généralement invoquées pour expliquer les politiques de sous-traitance, la politique d'Airbus procède d'abord d'une stricte logique d'organisation industrielle. Le recentrage sur les savoir-faire essentiels du métier d'avionneur, à savoir l'architecte industriel, le maître d'oeuvre, le concepteur et l'intégrateur, suppose la maîtrise des activités stratégiques - conception générale, systèmes électroniques, commandes de vol, mâts réacteurs, assemblage et mise en vol - et l'externalisation de celles engageant une technologie totalement maîtrisée ou banalisée.

C'est alors la fin du modèle de la firme intégrée qui prévalait dans les années 70 où les constructeurs aéronautiques réalisaient en interne la plupart des opérations conduisant à la fabrication des avions. En effet, la part des achats dans le chiffre d'affaires d'Aérospatiale est passée de 40 à 70% entre 1980 et 1990. Cette externalisation des activités secondaires a entraîné une multiplication du nombre des sous-traitants, un coût de suivi élevé et des difficultés pour s'assurer de la qualité des productions d'autant que chaque établissement gérait ses propres achats de sous-traitance. Ces conséquences négatives d'une gestion décentralisée mais également la perspective du développement de nouveaux programmes ont alors contraint Airbus à élaborer une véritable politique en la matière au début des années 90.

L'objectif pour l'Airbus est alors double. Il s'agit d'abord de réduire le nombre des sous-traitants, l'ambition étant de passer de près de 700 sous-traitants à environ 120 sous-traitants de premier niveau. Par ailleurs, dans une optique de recherche d'aide au financement du développement en raison du désengagement de l'Etat, notamment en matière de R&D, il s'agit de sélectionner des sous-traitants dont la taille garantit une autonomie de gestion et des capacités financières autorisant un partage des risques lié au lancement de programmes lourds.

Cette externalisation s'appuie ainsi sur la constitution autour de l'entreprise d'un réseau stable de partenaires aux activités complémentaires dans lequel les relations durables sont contractualisées et des liens de partenariat instaurés avec des objectifs d'amélioration des performances et un partage des risques².

² La restructuration passe également par le désengagement de certains sites. Trois usines sont considérées comme non prioritaire et devraient être cédées : Saint-Nazaire Ville (850 emplois) qui verra son activité regroupée avec celle voisine de Gron, Varel et Laupheim en Allemagne. Les activités de Méaulte (France), Filton (Angleterre) et Nordenham (Allemagne) ont un statut particulier. Essentielles pour l'activité d'Airbus, elles seront

3 - Modularisation et intégration de systèmes : l'émergence de la firme pivot

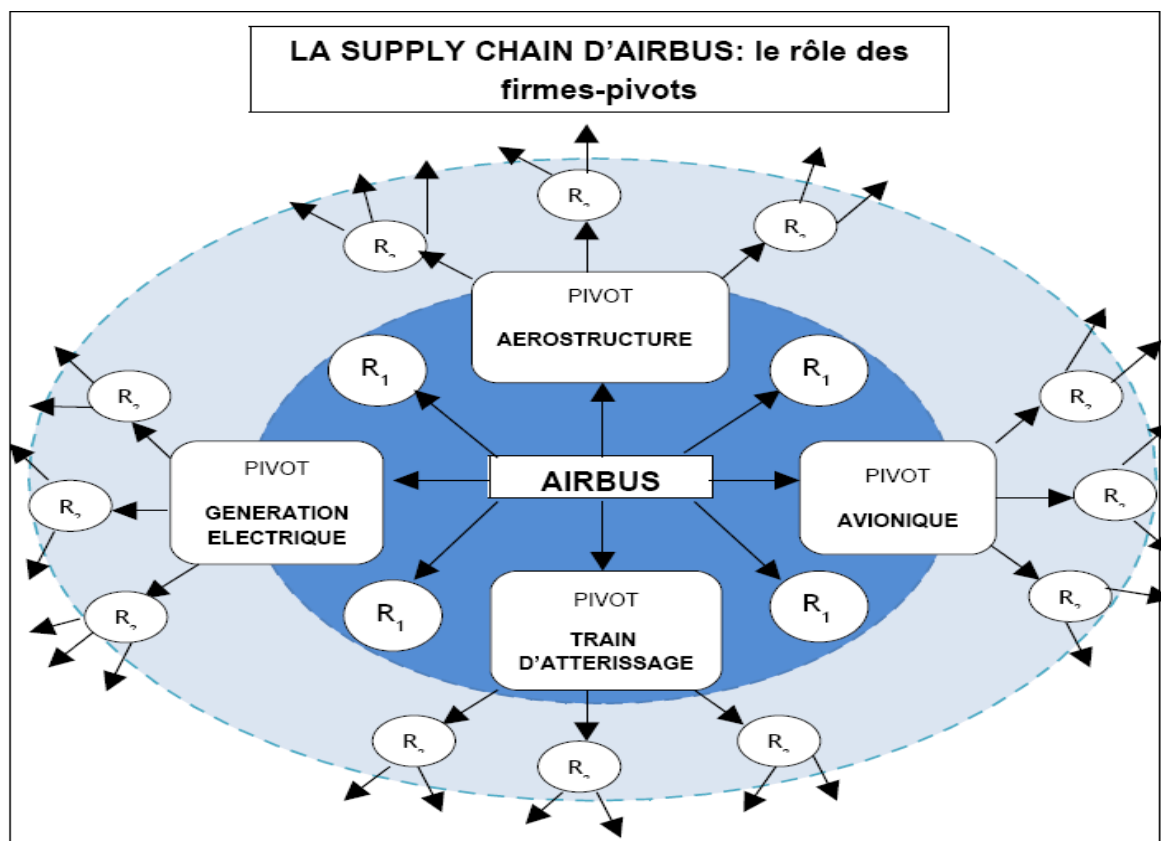
La modularisation n'est pas un phénomène récent dans l'activité aéronautique. Elle est au coeur des relations verticales entre donneurs et receveurs d'ordres. Elle a été au centre de la Nouvelle Démarche Industrielle adoptée par Aerospatiale en 1992. Les mutations récentes annoncent un approfondissement de cette organisation ainsi qu'une forte redistribution des rôles entre acteurs participant au processus de production de l'avion.

Dans un contexte de modularité pure, la démarche d'une firme architecte consiste à décomposer le produit final en une série de sous-ensembles indépendants dans leur conception et leur production et simultanément interdépendants lorsqu'il s'agit de les associer pour former le produit final. La modularisation se fonde alors sur une décomposition technique et cognitive des processus productifs (Ulrich, 1995). Dès lors, les processus qui donnent lieu à ces produits sont tels que l'organisation des firmes actives dans ces processus doit être repensée (Langlois, 2003; Frigant, 2005). La modularité est, de ce point de vue, la fin de la firme intégrée et l'avènement d'une organisation – la « firme étendue » dans un premier temps – dans laquelle une firme architecte coordonne un ensemble de fournisseurs spécialisés sur des blocs de compétences particuliers. Même si elle pose directement la question de la dialectique entre technologie et organisation, l'architecture organisationnelle n'est pas fondée sur un déterminisme technique. Elle obéit à une démarche stratégique : la maîtrise par la firme architecte de l'amont (conception du produit et approvisionnements) et l'aval (commercialisation) de la chaîne de valeur (Frery, 1997). L'architecte se focalise sur ses compétences foncières - conception, assemblage et commercialisation des produits - et externalise ce qui ne constitue pas le coeur de métier. En conséquence de ces choix industriels, la firme-architecte met en place un système de gestion de ses relations avec ses partenaires qui relève de la panoplie des relations « entre marché et hiérarchie » mais qui emprunte de plus en plus aux transactions marchandes et de moins en moins aux relations de coopération et de partenariat en tout cas pour certains composants³.

Dans une organisation modulaire, l'architecte confie à des firmes spécialisées la conception et la production de modules ou de composants du produit final (Ulrich, 1995; Sanchez et Mahoney, 1996). Son rôle de super-vision consiste à contrôler la réalisation des sous-ensembles et à s'assurer de leur compatibilité – les interfaces- avec les autres modules. Selon le degré de division technique du travail, l'architecte aura à contrôler un nombre plus ou moins important d'opérations, à contrôler un nombre plus ou moins important d'interfaces. Il s'assure que les caractéristiques des ensembles produits correspondent bien aux interfaces spécifiées *ex ante*.

certainement maintenues sous une forme ou une autre dans ce qui serait une « entreprise étendue ». Dans tous les cas, Airbus souhaite voir des entreprises, notamment d'aérostructure, à l'image de Latécoère ou de Spirit, prendre une part importante dans les investissements nouveaux que nécessite la reconversion de ces sites sur des activités composites.

³ Un sous-traitant historique d'Airbus (23 ans de relations) et fabricant de pièces d'aérostructures, résume cette mutation ainsi: « nous sommes passés de la livraison de produits à la vente de marchandises issues du sourcing , du partenariat à l'appel d'offre anonyme»

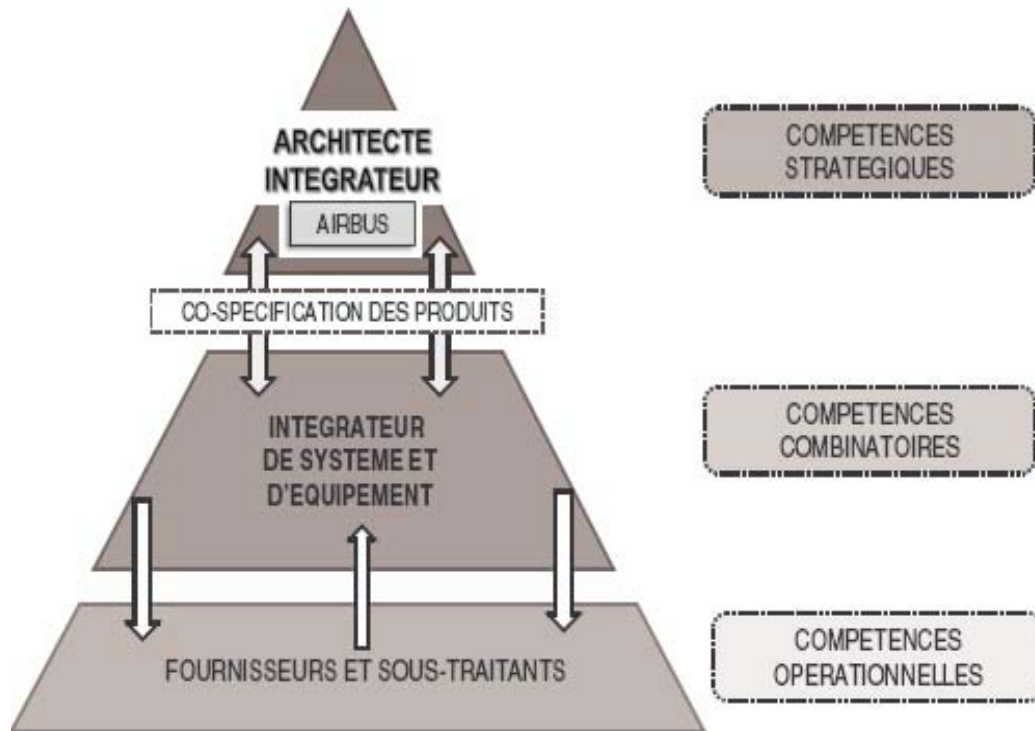


L'approfondissement de l'organisation modulaire chez Airbus consiste principalement à confier à des entreprises spécialisées – les entreprises pivots ou "*Hub firm*" (Jarillo, 1988), – des ensembles de plus en plus importants⁴. Ainsi par exemple, la totalité de l'aérostructure, des systèmes embarqués, Plus la taille des ensembles et sous-ensembles confiés s'accroît et moins grande est la charge de coordination de l'architecte, le nombre d'interfaces à contrôler se réduisant au nombre de modules à recomposer. L'avantage économique de la modularisation est là aussi net en termes de réduction des coûts à travers la réduction du nombre de partenaires directs. La firme-pivot peut jouer à son tour un rôle de firme architecte pour les ensembles qui lui sont confiés. Son rôle de pivot réside dans le fait qu'elle va articuler les compétences techniques et organisationnelles d'autres participants au projet productif. La relation entre la firme architecte et le réseau de firmes qu'elle structure dépend de la nature de l'interface. Araujo, Dubois et Gadde (1999) distinguent quatre types d'interfaces :

- Les *interfaces standardisées* sont celles générées par la production de produits standards issus de technologies banalisées;
- Les *interfaces spécifiées*, sont celles explicitement codifiées dans un cahier des charge précis;
- Les *interfaces de "translation"* sont relatives à la définition des fonctionnalités du produit plus que du produit lui-même ainsi que des conditions de son utilisation;

⁴ Selon les termes d'un dirigeant d'une grande entreprise d'aérostructures de la région toulousaine « nous devons acheter à Airbus des paquets de l'avion avant de les lui revendre ».

- Les *interfaces interactives* sont celles qui sont co-déterminées par les participants à l'inter-action; elles mettent en jeu des actifs spécifiques complémentaires.



La firme pivot est celle qui articule les interfaces de translation et interactives. Elle développe des compétences combinatoires. Elle a les capacités pour mobiliser un ensemble de ressources internes et externes - techniques, organisationnelles et financières - pour participer à la prise en charge en conception et en production d'un sous-ensemble technique majeur du produit final. Dans la configuration projetée par les mutations en cours, une firme pivot, qui prendrait en charge des modules de l'aérostructure ou des systèmes d'avionique par exemple, doit répondre à des critères de taille, de capacités financières et technologiques pour partager les risques industriels et financiers⁵.

Sur cette base, la configuration « optimale » d'un réseau de sous-traitance serait un premier rang constitué de grandes entreprises-pivot pour un ensemble technico-industriel homogène (aérostructures, câblage électrique, systèmes embarqués...), des entreprises - pivot également mais de moindre taille et enfin des fournisseurs et sous-traitants. La caractéristique des entreprises-pivot seraient de pouvoir partager les risques selon la formule, « l'équipement n'est payé que si l'avion est vendu ».

⁵ Ces critères se traduisent par les indicateurs suivants :150 millions d'€de chiffre d'affaires, 1 200 à 1 500 salariés, 40 millions d'€de capitaux propres, un bureau d'études et un portefeuille technologique pluri-activités

4 - Les processus d'innovation : «tout à l'avant», «tout électrique», «tout composites»

Pour saisir ce qui se passe aujourd'hui dans le secteur, en termes économiques et d'organisation industrielle, il est nécessaire de mettre en arrière plan les innovations technologiques qui ont marqué l'évolution des programmes Airbus. Ces innovations constituent à chaque fois une rupture de paradigme au sens où elles introduisent de nouvelles architectures de produit. Sans déterminisme technologique exagéré, on peut dire que les choix technologiques adoptés ont induit des modifications profondes dans l'organisation industrielle de l'avionneur mais également dans ses relations avec les entreprises sous-traitantes.

La complexification croissante des avions, résultat et moteur des processus d'innovation technique, est une donnée constante dans l'évolution des programmes Airbus. Si cette complexification touche aujourd'hui principalement l'avionique et les systèmes embarqués, il n'en demeure pas moins qu'elle se retrouve dans toute la conception et la production de l'avion depuis le début des premiers programmes.

L'A300 était le premier biréacteur à large fuselage et long courrier, tous les autres étaient des quadrimoteurs. Il inaugure également le poste de pilotage « tout à l'avant ». Cette innovation permet de passer au pilotage à deux, nouveauté pour un gros porteur. Cela introduit surtout une approche différente dans la conception du produit qui n'est pas sans conséquence sur la répartition des tâches entre les partenaires et la nature des tâches à confier en externe. Cependant, «pour autant, l'A300 ne se veut pas un appareil révolutionnaire, mais au contraire simple, avec des solutions éprouvées : il s'agit de ne pas effrayer les clients potentiels ni par des technologies totalement inconnues, ni par des coûts élevés »⁶. L'A300 inaugure l'ère « un bon avion est un avion qui se vend », stratégie qui remplace l'avion des ingénieurs, le Concorde, soit un bel objet technique mais qui ne se vend pas. En termes d'externalisation, nous sommes dans une phase où Airbus réalise l'essentiel de l'avion en interne. L'externalisation porte pour l'essentiel sur du travail à façon. Les entreprises sous-traitantes réalisent la fabrication de composants à partir des études et des plans détaillés communiqués par l'avionneur. Nous sommes dans une sous-traitance classique où les entreprises liées fonctionnent comme des ateliers externalisés qui fournissent des pièces et des composants au constructeur.

En 1984, l'introduction des commandes électriques de vol sur l'A320 ainsi qu'une nouvelle conception du cockpit constituent une véritable révolution en la matière. Elle permet de gagner en masse et en nombre d'équipements. Les commandes électriques et le pilotage automatique inaugurent l'étape de l'arrivée massive de l'électronique et des systèmes embarqués. Là aussi, ceci n'est pas sans conséquence sur l'organisation industrielle. C'est, en partie, l'architecture d'ensemble de l'avion qui est repensée. La maîtrise des systèmes électriques devient un actif spécifique fondamental. Selon les programmes, ce ne sont pas toujours les mêmes modules électriques qui sont externalisés. Il y a là un souci net de conserver en interne des compétences majeures et de freiner les risques de dépendance captives vis à vis de fournisseurs externes.

Les familles A318/A319/A320/A321 et A330/A340 introduisent une quasi standardisation des équipements de cockpit (en 1987). Les avions de la même famille possèdent le même tableau de bord, les mêmes procédures de pilotage, la même avionique et

⁶ A. Garcia, Directeur Technique d'Airbus Industrie en 1998, cité par *Air & Cosmos*, n°1643

quasiment les mêmes systèmes. Ces configurations similaires permettent dès lors aux mêmes équipages de piloter tous les avions d'une même famille. Cet argument commercial procède également d'une rationalisation des processus de fabrication. Ainsi, en matière d'outillage, l'A321 réutilise la quasi-totalité des équipements développés pour l'A320.

Les avancées technologiques dans le cas de l'A380 ont été notamment des innovations liées aux problèmes posés par la taille de l'avion et à l'Avionique Modulaire Intégrée (AMI). Ainsi dans le premier cas, la taille et le poids de l'avion ont nécessité le développement de sous-systèmes hydrauliques et électriques de transport de l'énergie qui ne génèrent pas des masses élevées ni des pertes de charges importantes. Avec un caisson central en composites et des systèmes comportant la génération électrique variable et de nombreuses innovations, l'A380 accélère l'ère de « l'avion tout électrique ».

Le concept « avion tout électrique », repose sur la suppression de la génération hydraulique centralisée. La « génération hydraulique locale autonome » développée par Messier-Bugatti et Sofrance (Safran) a permis de résoudre les contraintes de charge en remplaçant des systèmes centralisés entièrement hydrauliques reliés par des circuits complexes par des systèmes électro-hydrauliques dédiés à chaque équipement. Cette innovation permet des gains de masse importants et une diminution des coûts de production et de maintenance. L'autre innovation introduite sur l'A380 est l'électronique modulaire intégrée.

Jusqu'au programme A340, les systèmes avioniques étaient composés d'un ensemble d'équipements numériques (des calculateurs) reliés et dédiés, chacun, à une seule fonction. L'ajout d'une fonction nouvelle à bord de l'avion nécessitait l'implantation de nouveaux calculateurs et de nouvelles liaisons. En d'autres termes, cette avionique, dite classique, est constituée d'un ensemble de ressources non partagées. Parce qu'elle induisait la multiplication des équipements, elle générait des charges et des coûts élevés. L'AMI adoptée par l'A380 (et par les B 777 et 787) consiste à abandonner ce principe de ressource dédiée pour faire partager une même architecture matérielle à des applications différentes. Concrètement, un maximum de calculateurs de bord sont regroupés dans des modules électroniques communs à plusieurs fonctions. Pour le 787, par exemple le coeur système, (Common Core System développé par Smiths Aerospace), repose sur une même plate-forme regroupant l'ensemble des fonctions avionique et de gestion des servitudes. Le calculateur central permet d'héberger les fonctions de calcul de plus de 80 sous-systèmes de l'avion. Cette organisation informatique favorise une grande évolutivité des fonctionnalités logicielles dans la mesure où elle permet de modifier des éléments sans avoir à toucher à l'architecture informatique de l'avion.

S'il y a une rupture majeure avec l'introduction de technologies plus électriques à bord des avions, "l'intégration de systèmes et la standardisation de l'avionique pourraient constituer une rupture bien plus importante, permettant une meilleure gestion des flottes au sein des compagnies et une meilleure valorisation des parcs"⁷. Les bénéfices de ce type de technologies sont évidents en termes de poids, de volume, de maintenance et de coûts d'exploitation. Typiquement, on est en présence de technologies qui améliorent les performances de l'appareil tout en réduisant les coûts de fabrication et de maintenance ainsi que le poids des appareils. Sur le 787, le Common Core System permet de réduire ainsi le poids de l'avionique de près d'une tonne par rapport à un 767. Au plan industriel, le passage d'une logique « un calculateur pour chaque fonction » à une logique « un calculateur pour plusieurs fonctions » réduit le nombre d'intervenants dans la fabrication des modules

⁷ Emmanuel Grave, vice-président de la division aéronautique de Thales, Air & Cosmos du 24 novembre 2006.

électroniques et permet de déléguer la fonction de coordination à un acteur unique, à une firme-pivot, qui va organiser la cascade de sous-traitance.

Même si l'A350 XWB adopte des technologies déjà éprouvées sur les précédents programmes, notamment l'A380 ou l'A400M, il pousse loin le concept tout électrique et tout composite. La part des matériaux composites est ainsi passée à 52 % contre 38% sur la version avortée de l'A350 alors que les aluminiums et les lithiums restent à 20%. Le tournant composite est l'autre vecteur des mutations qui affectent les avionneurs et leurs partenaires. La présence des composites dans les programmes Airbus n'a cessé de croître depuis l'A300. Ainsi, de 5% sur l'A300-600 et de 25% sur l'A380, les matériaux composites auront un poids plus important dans l'A400M. Sur l'A380 le composite apparaît dans le caisson central, pièce considérable, la section et le cône arrière, la cloison étanche, les poutres du pont supérieur et dans les structures « caissonnées » des ailes. En fait, c'est l'A350 qui apparaît comme le vecteur majeur du tournant composite.

Les mutations à opérer sont d'autant plus cruciales que ces choix sont en quelque sorte imposés par Boeing qui a placé très haut la barre des innovations tant pour le 777 que pour le 787. C'est sous cette pression et celle des compagnies aériennes qu'Airbus a été amené à revoir sa copie et à injecter plus de 10 millions d'€ pour développer une version de l'A350 capable de concurrencer Boeing. La question des compétences nécessaires est une autre raison qui marque les enjeux du tournant composites. Selon les responsables d'Airbus, aujourd'hui chez les fournisseurs potentiels aucun bâtiment, aucune machine ne sont adaptés pour réaliser l'A350. Les choix de panelisation du fuselage ainsi que son découpage en quatre secteurs circonférenciels, s'ils permettent des coûts de production et maintenance supposés plus faibles que ceux des produits concurrents (B 777 et B 787), appellent des investissements très lourds que seules quelques entreprises de grande taille peuvent engager.

Cette rapide « histoire technique » des programmes successifs d'Airbus montre, encore une fois sans déterminisme technologique exagéré, qu'il existe une relation étroite entre les choix techniques et les retombées en matière d'architecture des relations entre le constructeur et les différentes firmes qui participent au processus industriel.

5 - Le marché aéronautique et les cadences de production : des effets volumétriques

Le marché de l'aéronautique se caractérise par la forte tension entre les capacités de production des deux constructeurs et la demande des compagnies aériennes. Cette tension n'a cessé de croître ces dernières années. Ainsi, on est passé d'un taux de livraison de 49% en 1995 à seulement 30,65 % en 2005 (43,78 % en 2006). La conséquence de cette situation est la croissance continue des « restes à livrer » qui atteignent, pour les deux constructeurs, près de 5 000 avions en 2006 soit 4 années d'activité.

Commandes, livraisons et reste à livrer (1985-2006)

	1985	1990	1995	2000	2005	2006
Commandes						
- Airbus	99	240	86	463	1109	824
- Boeing	399	419	337	567	1028	1058
- PDM Airbus	16 %	31 %	16 %	44 %	52 %	44 %
Livraisons						
- Airbus	42	95	124	311	378	434
- Boeing	203	365	207	450	277	393
- PDM Airbus	13 %	15 %	33 %	39 %	57 %	52 %
Reste à livrer						
- Airbus	151	1038	578	1626	2177	2533
- Boeing	581	1830	1078	1503	1804	2455
- PDM Airbus	15 %	30 %	31 %	50 %	55 %	51 %

Source : Airbus

Sur les 20 prochaines années, l'on s'accorde pour dire que le marché, tous segments confondus, continuera à connaître une croissance importante. La région Asie-Pacifique devrait être le plus gros client des avionneurs, avec 36% du marché en valeur, devant l'Amérique du Nord (26%), l'Europe, la Russie et les ex-républiques soviétiques (25%), et enfin la région Amérique latine, Moyen-Orient et Afrique (13%).

Selon Boeing, sur les 28.600 appareils livrés, 13% seront des avions régionaux (moins de 90 sièges), 62% des mono-couloirs (90-240 sièges), 22% des bi-couloirs (200-400 sièges) et 3% des gros porteurs type Boeing 747 ou Airbus 380. Les prévisions d'Airbus sont quelque peu différentes quant aux segments de croissance. Selon l'avionneur européen, le marché à l'horizon 2023 aura besoin de 1 250 avions passagers neufs d'une capacité de 450 sièges et plus (contre 850 pour Boeing), plus de la moitié étant destinée à desservir les zones à forte densité de population de la région Asie-Pacifique. Les mono-couloirs continueront, en effet, de dominer le marché en volume en raison de la croissance des compagnies low-cost.

Quel que soit le constructeur, l'ensemble des acteurs du marché s'accordent sur des prévisions de forte croissance de la demande pour les prochaines années. Ces projections induisent une adaptation des capacités de production.

Power8 prévoit d'augmenter de façon conséquente les cadences de production de ses différents programmes. Les prévisions de livraisons d'Airbus sont de 440 à 450 avions en 2008, avec une augmentation progressive des cadences pour arriver, vers 2009-2010, à 500 livraisons. L'objectif des 500 livraisons correspond à une cadence mensuelle de 40 appareils contre 32 aujourd'hui. L'enjeu n'est pas des moindres : augmenter les cadences de 25% sur une période de 2 ans.

Déjà par le passé, Airbus a dû s'adapter à de très fortes fluctuations de son appareil de production. L'élément nouveau aujourd'hui est que la taille de cet appareil de production a franchi un seuil significatif où les effets volumétriques vont jouer un rôle important. En effet, on n'organise pas de la même façon une chaîne d'approvisionnement pour produire 29 avions (en 1986), 126 (en 1996) et 434 (en 2006). Sur les 10 dernières années, les livraisons, et dès lors les cadences de production, ont augmenté de plus de 244%! Conjuguée au fait que les achats d'avions sont de plus en plus le fait de loueurs qui achètent en quantité importante, il en

ressort une forte pression au resserrement du nombre de fournisseurs capables de livrer les quantités nécessaires et à des prix nécessairement tirés vers le bas.

Livraisons d'avions et taux de croissance 1985-2006

Années	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1985-1995
Livraisons	42	29	32	61	105	95	163	157	138	123	124	
Taux de croissance		-31	10	91	72	-10	72	-4	-12	-11	1	195,00%

Années	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	1996-2006
Livraisons	126	187	229	294	311	325	303	305	320	378	434	
Taux de croissance	2	44	26	28	6	5	-7	1	5	18	15	244,00%

Source :Airbus

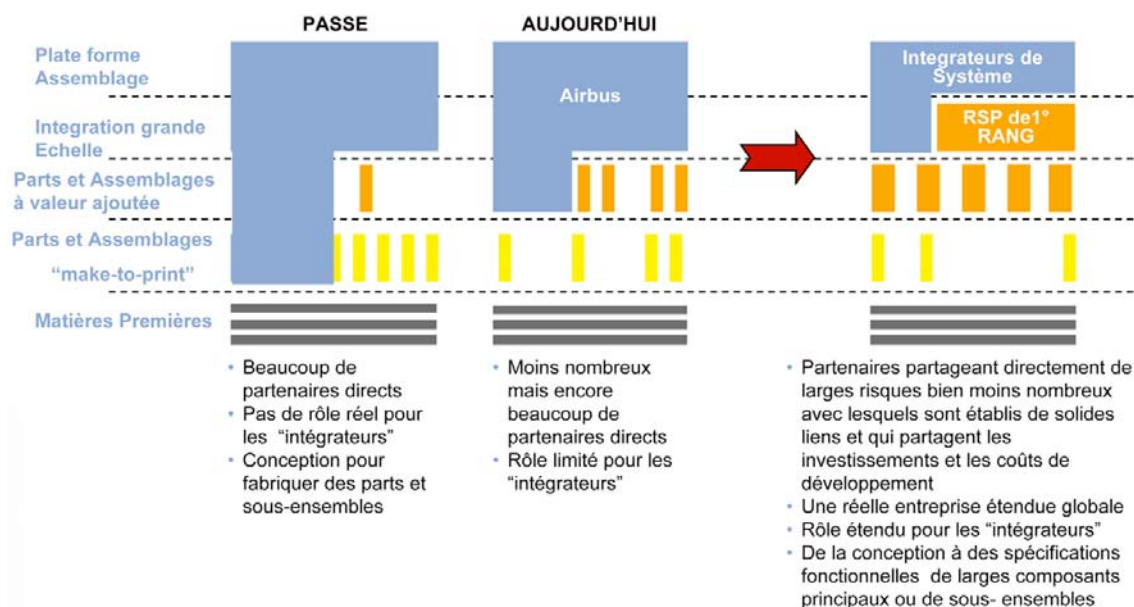
Power 8 approfondit une démarche constante d'Airbus. Ainsi, en 2003, «Sup@irWorld» visait à rationaliser la chaîne logistique multinationale de l'entreprise. Pour le responsable de cette organisation « la gestion de la supply chain, par le passé, était réalisée à travers un tissu constitué de différentes entités, des moyens et d'interfaces de communication différentes, des processus de gestion des commandes différents, etc. Il s'agit donc de centraliser en un lieu unique l'ensemble des informations de la chaîne logistique pour les fournisseurs et le personnel d'Airbus : la bonne information doit être disponible au bon moment pour les bonnes personnes. Telle est la clé de l'amélioration de la chaîne logistique. Nous passons d'une organisation fragmentée à une solution centralisée avec des informations disponibles en temps réel. »⁸ Cette plate-forme couvre l'ensemble du processus d'achat et d'approvisionnement avec pour ambition de devenir le canal unique entre Airbus et ses fournisseurs. De manière générale, cette plate-forme a permis une standardisation, une rationalisation du processus achat d'Airbus et une sécurisation de la chaîne logistique. A la fin 2007, quelques 800 fournisseurs sont connectés sur cette plate-forme qui a géré, par exemple, tous les systèmes de l'A380.

En fait, plus que d'une réduction du nombre d'entreprises participant aux différents programmes, il s'agit de réorganiser l'arborescence du réseau et la nature des relations. Cette réorganisation ne passe pas nécessairement par la réduction du nombre de fournisseurs. Ainsi si l'on se réfère à ce qui s'est passé avec Embraer, on se rencontre que le nombre de partenaires d'Embraer n'a cessé de croître au fur et à mesure des différents programmes. En revanche, c'est le nombre de fournisseurs directs qui a baissé.

Chez Airbus, l'objectif de réduction du nombre de fournisseurs directs est poursuivi par la Smart Buying Restructuration qui vise la refonte de la base de fournisseurs à travers deux objectifs: le resserrement du nombre de partenaires à risques partagés et la

⁸ Eric Segura Responsable du projet e-Supply Chain chez Airbus).

rationalisation de l'organisation logistique qui doit passer de 80 entrepôts actuellement à 4-8 centres logistiques.



Source: Airbus 2007

Il y a, aujourd'hui, au total 15 000 entreprises en relations d'affaires avec Airbus. Les fournisseurs qui contribuent directement à la production des avions (fournitures de pièces, équipements, systèmes ou études) sont au nombre de 3 000. D'ici à 2010, l'objectif déclaré est de réduire ce nombre à 500. Ceci se fera, entre autres, en confiant à un nombre resserré de sous-traitants "directs" une plus importante charge de travail. A ces sous-traitants majeurs ou de premier rang de confier, à leur tour, une partie du travail à d'autres entreprises. "On peut imaginer n'avoir qu'un seul contrat avec le fournisseur de train d'atterrissage, qui lui-même gèrera l'approvisionnement en roues, en freins et en système hydraulique, au lieu de quatre contrats séparés"⁹. A l'évidence, cette modification des relations devrait entraîner des regroupements et des disparitions pour les petits équipementiers. Ceci étant, il ne s'agit pas de supprimer 2 500 sous-traitants. Il s'agit de passer d'une organisation en râteau à une organisation pyramidale plus marquée. C'est plus l'arborescence de la chaîne des fournisseurs qui est réorganisée. Des entreprises actuellement en relations directes avec Airbus travailleront avec une entreprise-pivot. Il s'agit là de la poursuite d'une opération entamée par les programmes Cap 31 ou Route 66 qui avaient ramené le nombre de sous-traitants directs aux 3 000 actuels. On peut également assister à des remontées de rangs pour des firmes qui ont développé des compétences nettes dans certaines activités.

⁹ M. Courpron Direction des achats, Airbus France

Conclusion

La nouvelle organisation industrielle qui se met progressivement en place - et qui accentue des traits déjà révélés dans les évolutions passées - est le résultat d'une dynamique portée et par Airbus et par les grands systémiers et équipementiers du secteur. Elle se caractérise par les spécificités suivantes :

- un recentrage des activités sur le coeur de métier de l'entreprise. Avec Power 8, Airbus accélère le passage du statut industriel de « constructeur aéronautique » à celui « d'assembleur de systèmes ». Le statut d'architecte-assembleur permet, en effet, un meilleur positionnement (en terme de rentabilité, de compétitivité) à l'amont et à l'aval de la chaîne de valeur.
- l'externalisation des activités jugées non stratégiques. L'externalisation n'est pas une donnée nouvelle dans la politique des achats industriels. L'élément nouveau est qu'elle concerne de nouvelles activités et/ou porte sur des volumes de plus en plus importants. Les « paquets technologiques » externalisés représentent désormais des systèmes et des ensembles complets ;
- le renforcement du rôle des partenaires majeurs d'Airbus qui se constituent en véritables entreprises-pivots articulant les relations avec les autres sous-traitants de rangs inférieurs. Ces entreprises, qui réalisent des « paquets technologiques » importants, jouent à leur tour un rôle de firme architecte-intégrateur pour les ensembles qui leur sont confiés.
- la décomposition de l'avion en « paquets technologiques » de plus en plus importants, engendre mécaniquement une baisse du nombre de contractants directs d'Airbus. Cette évolution, toutefois, n'induit pas, forcément, une baisse du nombre des acteurs participants au processus de production. Il s'agit plutôt d'un aplatissement de la pyramide de sous-traitance, d'un nouveau « ranking » qui va nécessairement faire glisser des entreprises vers des rangs inférieurs.

Bibliographie

- Araujo, L., Dubois, A., et L.E. Gadde (1999), "Managing interfaces with suppliers", *Industrial marketing Management*, Vol. 28, pp. 497-506
- Baldwin, C. et K. Clark (2000), "Design Rules: The Power of Modularity", Volume 1, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- Brusoni, S. et A. Prencipe (1999), "Modularity in complex Product systems : Managing the Knowledge dimension" *Working Paper*, CoPS Publication n°57
- Frery, F. (1997), "La Chaîne et le Réseau" dans Besson P. (ed.), "*Dedans, dehors*", éditions Vuibert, pp. 23-53.
- Frigant, V. (2005), "Vanishing Hand versus Systems Integrators. Une revue de la littérature sur l'impact organisationnel de la modularité", *Revue d'économie industrielle*, n° 109, 1^{er} Trimestre, pp. 29-52.
- Frigant V. , Kechidi M. et Talbot D. (2006) *Les territoires de l'aéronautique EADS, entre mondialisation et ancrage territorial*, L'Harmattan.
- Igalens J. et Vicens Ch. (2006) "Les mutations dans le secteur aéronautique Le cas d'Airbus en Midi-Pyrénées", MIRE, Lirhe.
- Jarillo, J.C. (1988), "On strategic Networks", *Strategic Management Journal*, Vol.9, pp.31-41.
- Kechidi M. (1996), « Coordination inter-entreprises et relations de sous-traitance : le cas d'Aérospatiale », *Revue d'Economie Régionale et Urbaine*, n°1, pp. 99-120.
- Kechidi M. (2006), «La dynamique des relations inter-entreprises dans l'industrie aéronautique : une analyse de la sous-traitance d'Airbus France», *Revue Française de Gestion Industrielle*, n°2, pp. 29-45.
- Kechidi M et Talbot D. (2006), « L'industrie aéronautique et spatiale : d'une logique d'arsenal à une logique commerciale » in G. Colletis et Y. Lung (Eds), *La France industrielle en question*, La Documentation Française, Paris, pp. 73-92.
- Langlois, R.N. (2003), "The vanishing hand: the changing dynamics of industrial capitalism", *Industrial and Corporate Change*, Vol. 12, n° 2, pp. 351-385.
- Larré F. (1994), *Mécanismes et formes de coordination inter-entreprises, l'analyse d'un réseau de sous-traitance*, Thèse de doctorat ès sciences économiques, Université des Sciences Sociales de Toulouse, Toulouse.
- Sanchez, R. et Mahoney, J.T. (1996), "Modularity, flexibility, and knowledge management in product and organization design", *Strategic Management Journal*, Vol. 17, pp.63-76.
- Talbot, D. (2001), "Mondialisation et dynamiques des coordinations inter-firmes : le cas de la sous-traitance aéronautique", *Sciences de la Société*, n°54, Octobre, pp. 153-165
- Ulrich, K. (1995), "The role of product architecture in the manufacturing firm", *Research Policy*, n°24, pp. 419-440.

Cahiers du GRES

Le **GRES (Groupement de Recherche Economiques et Sociales)** est un Groupement d'Intérêt Scientifique entre l'Université Montesquieu-Bordeaux IV et l'Université des Sciences Sociales Toulouse I.

Il regroupe des chercheurs appartenant à plusieurs laboratoires :

- **GREThA - UMR CNRS 5113** (Groupe de Recherche en Economie Théorique et Appliquée), **Université Montesquieu-Bordeaux IV** ;
- **LEREPS - EA 790** (Laboratoire d'Etudes et de Recherche sur l'Economie, les Politiques et les Systèmes Sociaux), **Université de Toulouse 1 Sciences Sociales**;
- **L'UR 023** "Développement local urbain. Dynamiques et régulations", **IRD** (Institut de Recherches pour le Développement) ;
- Le laboratoire **EGERIE** (Economie et de Gestion des Espaces Ruraux, de l'Information et de l'Entreprise), **ENITAB** (Ecole Nationale des Ingénieurs des Travaux Agricoles de Bordeaux).

www.gres-so.org

Cahiers du GRES (derniers numéros)

- 2007-22 : THOMAS Olivier, *L'inflation de la fiscalité locale en France : une conséquence inattendue de la promotion de l'intercommunalité ?*
- 2008-01 : BERR Eric, *Quel développement pour le 21ème siècle ? Réflexions autour du concept de soutenabilité du développement*
- 2008-02 : NICET-CHENAF Dalila, *Les accords de Barcelone permettent – ils une convergence de l'économie marocaine ?*
- 2008-03 : CORIS Marie, *Les délocalisations sous l'angle de la coordination : Une lecture par les catégories de la proximité appliquée au logiciel*
- 2008-04 : DUPUY Claude, LAVIGNE Stéphanie, *Investment behaviors of the key actors in capitalism: when geography matters*
- 2008-05 : GAY Brigitte, *Competitive intelligence and network mapping of interfirm alliances: strategic implications*
- 2008-06 : POUYANNE Guillaume, *Théorie économique de l'urbanisation discontinuë*
- 2008-07 : LACOUR Claude, PUISSANT Sylvette, *Medium-sized cities and the dynamics of creative services*
- 2007-08 : MINDA Alexandre, *The strategies of multilatinas: from the quest for regional leadership to the myth of the global corporation*
- 2007-09 : NGUYEN Huu Thanh Tam, KECHIDI Med, *Investissement direct étranger d'exportation-plateforme: quels impacts sur la production locale ?*
- 2008-10 : CLEMENT Matthieu, MEUNIE André, *Economic Growth, inequality and environment quality: An empirical analysis applied to developing and transition countries*
- 2008-11 : KECHIDI Med, *Constructeur aéronautique versus architecte-intégrateur : le nouveau modèle Airbus*

La coordination scientifique des Cahiers du GRES est assurée par Alexandre MINDA (LEREPS) et Vincent FRIGANT (GREThA). La mise en page est assurée par Dominique REBOLLO.