

## L'évolution de l'industrie aéronautique : les incidences de la production modulaire

*Joël Thomas RAVIX \* et Nicolas MOUCHNINO \*\**

---

Le marché de l'aéronautique présente deux caractéristiques principales. D'une part, il s'agit d'un marché mondialisé qui bénéficie d'un chiffre d'affaires en croissance depuis plusieurs années. Le développement du trafic aérien et la santé financière des compagnies aériennes conditionnent la prise de commande des avions ainsi que le lancement des programmes. Cette liaison forte au trafic aérien expose cependant l'industrie aéronautique à des retournements de conjoncture qui peuvent être parfois brutaux. D'autre part, le marché de l'aéronautique est un marché complexe qui se décompose en trois segments : celui des avions régionaux (inférieur à 100 places), celui des avions d'affaires ou privés (jusqu'à 12 passagers) et enfin celui des avions commerciaux (de 100 à plus de 400 passagers). Cette dernière catégorie comprend encore différents sous-segments selon les critères de distance et/ou de nombre de passagers. Afin de répondre à cette segmentation du marché ainsi qu'aux exigences des compagnies aériennes (consommation, exploitation, maintenance, confort...) et des autorités (respect de l'environnement, sécurité...), les grands constructeurs ont dû trouver de nouvelles solutions pour diversifier leurs produits. Ainsi, autour du concept de famille, Airbus propose une déclinaison de produits pour s'adapter aux besoins des ses clients. Il convient également de préciser que, en dehors de l'activité de fabrication d'appareils neufs, il existe une importante activité liée à la maintenance aéronautique (entretien et rechange de

---

\* Professeur de sciences économiques à l'Université de Nice - Sophia Antipolis, joel.ravix@gredeg.cnrs.fr.

\*\* Doctorant de sciences économiques à l'Université de Nice - Sophia Antipolis, nicolas.mouchnino@gredeg.cnrs.fr.

pièces), en raison de la durée de vie d'un avion qui est de l'ordre de 25 à 30 ans pour un appareil civil et 35 ans pour un avion de fret.

Toutefois, si l'on se limite à une simple approche par le marché, on n'observe que la partie émergée de l'iceberg, c'est-à-dire les relations entre les clients (les compagnies aériennes) et les grands constructeurs. Or, l'industrie aéronautique se présente aujourd'hui comme une filière, au sein de laquelle interviennent de nombreuses entreprises de tailles diverses et qui occupent des positions différentes au sein de la chaîne de production. Une ambiguïté équivalente se présente pour évaluer l'emploi dans cette industrie. En effet, selon l'INSEE, l'industrie aéronautique est passée d'un effectif de 116 464 personnes en 1999 à un effectif de 100 858 en 2007, principalement concentré sur cinq régions : Ile-de-France, Midi-Pyrénées, Aquitaine, Provence-Alpes-Côte d'Azur et Pays de la Loire <sup>1</sup>. Toutefois, ces données statistiques ne rendent compte que du cœur de métier ; elles écartent donc certaines activités qui prennent une part grandissante dans la construction aéronautique <sup>2</sup>. Au contraire, le GIFAS (Groupement des industries françaises aéronautiques et spatiales) élargit cette évaluation aux entreprises qui relèvent d'autres secteurs, mais qui travaillent directement ou indirectement pour l'aéronautique (entreprises spécialisées dans la fonderie, l'électronique, l'usinage, la chaudronnerie, la plasturgie, la mécanique, auxquelles s'ajoutent les services comme l'ingénierie et les études techniques, le conseil en systèmes informatiques, etc.). Cette conception élargie de l'industrie aéronautique montre alors une augmentation de l'emploi puisque les effectifs passent de 97 000 personnes pour l'année 1999 à plus de 130 000 pour l'année 2007.

De manière plus générale, cette évolution contrastée de l'emploi s'accompagne d'un problème de recrutement dans cette industrie qui a recours, plus que d'autres, à une main-d'œuvre très qualifiée (cadres et ingénieurs, techniciens et ouvriers qualifiés). La tendance s'est renforcée puisque le poids des ingénieurs dans les effectifs totaux est passé d'environ 30 % en 1999 à plus de 37 % en 2007. Cette évolution n'est pas sans lien avec les transformations récentes qu'a connues la construction aéronautique. Au cours de ces dernières années en effet, l'industrie aéronautique a vécu des bouleversements qui sont pour l'essentiel liés à une accélération de l'innovation. L'augmentation de la taille du marché aéronautique et la différenciation des produits ont permis une augmentation de la production, mais surtout l'apparition de firmes spécialisées dans des activités complémentaires (équipements et systèmes). Cette évolution s'est accompagnée d'une

1. Les régions Midi-Pyrénées et Ile-de-France concentrent à elles seules plus de 60 % des effectifs.  
2. Rappelons que l'INSEE regroupe dans l'industrie de la « construction aéronautique et spatiale » les secteurs de la « construction et réparation des moteurs pour aéronefs », la « construction de cellules d'aéronefs » et la « construction de lanceurs et d'engins spatiaux ».

organisation modulaire de la production qui a eu pour conséquence de modifier en profondeur les relations interentreprises qui structurent cette industrie. Ce sont les incidences de cette transformation que nous allons essayer d'apprécier en précisant, d'une part, la signification du passage à une production modulaire et, d'autre part, les implications de la modularité pour l'industrie aéronautique.

### ***I. La production modulaire dans l'aéronautique***

Afin de comprendre l'évolution de l'industrie aéronautique, il est aujourd'hui difficile de faire abstraction des contraintes de coordination technique qui conditionnent la conception et la fabrication d'un avion. En effet, un avion n'est pas un simple assemblage d'équipements, de moteurs et de cellules, mais il se présente comme un enchevêtrement complexe de systèmes, de sous-ensembles et de composants. Cette complexité systémique (Simon, 1969) ne provient pas seulement du nombre d'éléments qui composent le produit, mais aussi et surtout de leurs interactions. Le métier d'avionneur ne se limite plus à assembler des composants, il consiste à assurer l'intégration cohérente des différents systèmes et équipements. Dès lors, la question de l'évolution du produit devient l'élément central puisque toute action sur un sous-système constitutif de l'avion peut avoir des conséquences multiples et difficilement prévisibles sur d'autres éléments du fait de ses interactions. Cette complexité systémique a modifié considérablement la manière de concevoir, mais aussi de fabriquer de nouveaux avions.

Dans l'aéronautique, les avionneurs ont cherché à réduire cette complexité en adoptant une démarche que l'on peut qualifier de modulaire. Cette démarche consiste à décomposer un avion de ligne en modules principaux présentant une fonction clairement identifiable et reliés par des interfaces plus ou moins stables et standardisées (Frigant, 2004). Cependant, la modularité ne se limite pas uniquement à une décomposition technique du produit, elle s'accompagne d'une multiplication des relations interentreprises et d'un enrichissement de ces relations qui viennent modifier la structure de l'industrie.

#### ***I.1. La modularité technique dans l'aéronautique***

Le concept de modularité, développé dans l'ingénierie, permet de gérer la complexité croissante des systèmes. Il repose sur la notion « d'architecture-produit » qui peut être définie comme le schéma par lequel la fonction d'un produit est allouée à des composants physiques (Ulrich, 1995). Le produit est dit modulaire lorsqu'il existe un schéma d'identification unique entre une fonction et un composant. Cette relation univoque permet de diminuer les interdépendances systémiques. Dès lors, une architecture-

produit modulaire repose sur la constitution de modules autonomes, plus ou moins simples, qui s'assemblent avec d'autres modules grâce à des « règles de conjonction » (Aoki, Takizawa, 2002) ou des « interfaces » (Ulrich, 1995). Ces interfaces doivent décrire avec précision la manière dont les modules interagissent (information, caractéristiques physiques).

L'intérêt d'une telle démarche se retrouve à plusieurs niveaux. Tout d'abord, elle permet de concevoir une gamme plus large de produits reposant sur l'adoption d'une architecture-produit unique, où les modules répondent à une volonté de différencier l'offre. Ainsi, la famille A320 partage un ensemble d'équipements (tableau de bord, procédures de pilotage, avionique, voilure, etc.), seules la longueur du fuselage et les motorisations diffèrent (Frigant, Talbot, 2004). Le mixage des différents modules offre la possibilité de répondre à des segments plus spécifiques de marché sans modifier l'architecture globale, comme par exemple dans la famille A320, où on distingue plus d'une dizaine de versions avec des caractéristiques différentes (A320-100 ; A320-200 ; A320 Prestige ; A319-100 ; A319CJ ; A319LR, etc.).

Ensuite, la modularité permet d'augmenter l'échelle de la production tout en conservant un effet de gamme. En effet, sur une même chaîne d'assemblage les avionneurs peuvent regrouper une famille d'avions afin d'amortir au mieux leurs équipements. Par exemple, les cinq versions de la famille l'A330/A340 sont assemblées sur un même site (l'usine Clément Ader à Toulouse). La différenciation du produit s'effectue alors sur la chaîne de production grâce à l'apport de modules différents. De plus, l'adoption d'interfaces plus ou moins standardisées permet la mise en commun de modules, ce qui implique qu'un même module sera amorti sur l'ensemble de la famille mais aussi sur d'autres familles d'appareils. Par exemple, Airbus utilise certains modules comme l'avionique, les tableaux de bord sur la famille A320 et sur la famille A330 (Frigant, Talbot, 2004).

Enfin, la modularité permet d'améliorer sensiblement la performance des modules sans pour autant modifier l'architecture d'ensemble du produit (Henderson, Clark, 1990). Il devient donc possible de faire évoluer un avion tout au long du programme en remplaçant des modules ou un ensemble de modules. Par exemple, Airbus a redessiné de nouveaux pylônes et raccords de fonctionnement de la voilure sur l'A320, ce qui a permis de diminuer sa consommation de carburant. Cela permet également de répondre aux mutations de la demande qui ne peuvent pas être anticipées à l'origine du programme. Par exemple, CFM International<sup>1</sup> et I.A.E.<sup>2</sup> proposent pour les moteurs de l'A320 des kits de mise à niveau afin de se conformer aux nouvelles normes environnementales (Cochennec, 2008). En outre,

1. Entreprise commune entre General Electric et Snecma (Groupe Safran).

2. International Aero Engines. Consortium entre Rolls-Royce, Pratt&Withney, Japanese Aero Engines Corporation et MTU aero engines.

la possibilité de modifier l'agencement interne des modules sans intervenir sur l'architecture permet de répondre aux problèmes d'obsolescence des composants. Les avionneurs ont tendance à intégrer des technologies souvent anciennes pour des raisons de sécurité, ce qui pose le problème de la disponibilité des composants incorporés. Par exemple, au niveau de l'électronique il peut arriver que certains équipements soient entièrement reconçus, car les composants ne sont plus produits ou ne peuvent pas être remplacés.

Toutefois, le produit avion n'est pas totalement modulaire, il peut être défini comme « impur » au sens d'Ulrich (1995). Cette impureté vient d'une part des conditions de stabilité des interfaces et d'autre part du *mapping*<sup>1</sup> entre fonctions et composants. Il s'avère en effet très difficile de stabiliser l'architecture lorsque le produit intègre des technologies hétérogènes, qui connaissent des évolutions asynchrones (Brusoni, Prencipe, Pavitt, 2001). C'est le cas pour le fonctionnement d'un avion qui repose sur une interdépendance entre électronique et mécanique pour laquelle il est difficile de mettre en place des interfaces stables. Enfin, il existe souvent une faible correspondance entre la dimension physique et fonctionnelle des modules. Plus spécifiquement, le schéma des interdépendances entre fonction et composant est de type *many-to-one*<sup>2</sup>. Il peut arriver qu'un module soit constitué d'éléments physiquement compacts, mais dont la mono-fonctionnalité n'est pas présente. L'absence de mono-fonctionnalité réduit considérablement l'autonomie des équipes lors des phases de conception. Pour autant, cette double contrainte ne signifie pas que la modularité productive soit impossible. Elle nécessite cependant, pour être réalisée, la mise en place d'une organisation industrielle spécifique.

## **1.2. L'industrie aéronautique : une organisation modulaire spécifique**

De profondes transformations sont intervenues dans l'industrie aéronautique au cours des trente dernières années. Elles s'expriment par une nouvelle division des tâches mais également par une modification profonde des relations interentreprises. Ces diverses transformations se sont réalisées progressivement.

### **1.2.1. L'évolution du positionnement d'Airbus dans l'industrie aéronautique**

Jusqu'à la fin des années soixante-dix, les différents avionneurs européens, mais aussi américains, maîtrisaient l'ensemble des métiers nécessaires à la conception et à la production d'un avion. Cette logique, notamment en France, était fortement marquée par une présence de l'Etat qui régula à la fois l'industrie aéronautique et l'industrie du transport aérien. Dans

1. Schéma qui relie une fonction à un module déterminé.  
2. Un module assure plusieurs fonctions (Ulrich, 1995).

cette logique dite « d'arsenal » (Muller, 1988), l'Etat était l'unique acteur car il définissait et finançait l'ensemble des programmes (cas du Caravelle). La division du travail était alors relativement restreinte du fait d'une forte segmentation des marchés qui obligeait les Etats à soutenir leur industrie aéronautique. Le tissu des sous-traitants était totalement captif d'un donneur d'ordre. En effet, les tâches externalisées se faisaient sur la base d'un cahier des charges très précis qui intégrait à la fois les spécifications du produit et aussi les équipements qui devaient être utilisés.

A partir des années quatre-vingt, les avionneurs ont externalisé une part de plus en plus importante de leur activité, mais en conservant le nœud des flux d'approvisionnement et de la conception. Cette externalisation rapide a eu des conséquences importantes sur la production (problème de suivi et de qualité), mais aussi sur l'élaboration de nouveaux programmes, puisque cette gestion décentralisée rendait très difficile et coûteuse la coordination de l'ensemble des sous-traitants <sup>1</sup>.

La fin des années quatre-vingt a vu la limite d'un modèle d'externalisation essentiellement basé sur la sous-traitance de capacité et surtout a connu la remise en cause des financements publics (accord-cadre de l'Organisation mondiale du commerce signé en 1992 régissant les subventions accordées à l'industrie). Les avionneurs faisaient de plus en plus appel à la sous-traitance de spécialité. L'objectif ici était double, d'une part, diminuer le nombre des sous-traitants en leur confiant des sous-ensembles plus grands afin de réduire les coûts de coordination et, d'autre part, chercher d'autres sources de financement en sous-traitant une partie marginale de la conception des modules. Les tâches confiées aux sous-traitants se faisaient sur la base d'un cahier des charges plus large et fonctionnel. Pour autant, la structure industrielle restait très centralisée sur des avionneurs qui contrôlaient en interne la conception, alors même que l'avion commençait à être modulaire (Talbot, 1998).

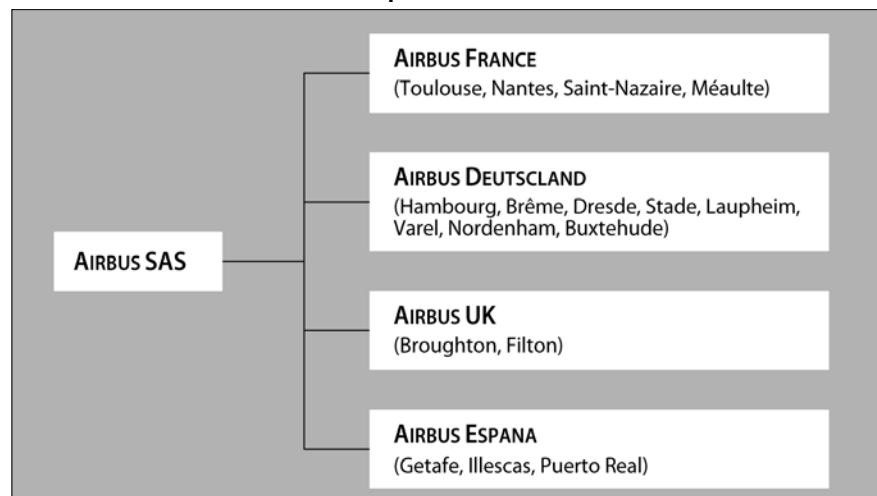
Ces dix dernières années ont vu l'émergence d'une organisation modulaire qui selon certains est la conséquence d'un découpage technologique du produit (Sanchez, Mahoney, 1996). En effet, Baldwin et Clark (2000) considère que l'architecture-produit permet de partitionner les informations, entre d'un côté les informations visibles ou *visible design rules*, qui définissent les règles d'interactions des modules et les modules utilisés, et de l'autre les informations cachés ou *hidden design parameters* qui déterminent le fonctionnement du module. Cette distinction permet alors de comprendre que certains acteurs indépendants peuvent développer et améliorer le contenu des modules sans se soucier des autres à partir du moment où ils respectent les règles de conception édictées (règles de conception visibles). Ce phénomène est renforcé par le fait que les avionneurs ne peuvent

1. Au début des années 1990, Aérospatiale devait gérer un réseau de plus de 700 sous-traitants.

plus maîtriser l'ensemble des compétences nécessaires à la production et à la conception d'un avion en raison de sa complexité technologique. En effet, les systèmes prenant une part de plus en plus importante dans le produit avion (Kechidi, 1996), l'avionneur n'arrive pas à maîtriser ces activités complémentaires qui nécessitent des compétences trop éloignées des siennes (Richardson, 1972). Ne pouvant intégrer l'ensemble du processus de production, les avionneurs se cantonnent alors au rôle d'architecte-intégrateur et externalisent une grande partie de ces activités complémentaires. Ils fixent l'architecture-produit, les interfaces correspondantes et assurent au final l'assemblage et la commercialisation du produit.

Pour Airbus ce passage à la modularité s'accompagne d'une rationalisation de son organisation avec la spécialisation des sites autour de l'assemblage des cellules et l'intégration des différents systèmes. Airbus SAS regroupe l'ensemble des activités qui vont de la recherche jusqu'à la fourniture de pièces de rechange, en passant par l'assemblage, la certification ou la location d'avion. Pour cela elle s'appuie sur quatre filiales (Airbus France, Airbus UK, Airbus Deutschland et Airbus España) qui regroupent plus de seize sites qui ont la responsabilité de sous-ensembles complets.

**Schéma 1. Les quatre filiales d'Airbus SAS**



Tout au long de ses différents programmes, Airbus a renforcé la spécialisation de ses sites (Ailes, Cabine, Electrique, Mas de réacteurs...). A titre d'exemple, l'usine située sur la commune de Montoir de Bretagne (proche de Saint-Nazaire) est spécialisée dans l'assemblage et l'intégration des fuselages avant et centraux (A300, A330/340 et A380). Cette spécialisation, sur

des gros ensembles intégrés<sup>1</sup>, a été accentuée par le plan « Power8 » avec la séparation de certaines usines spécialisées dans des composants élémentaires et des sous-ensembles (Filton à l'entreprise GKN, Laupheim au partenariat Thalès-Diehl, Saint-Nazaire et Méaulte dans une filiale d'EADS), mais elle conserve les unités d'assemblage. Ainsi le transfert de l'unité de fabrication de composants et de sous-ensembles concernant la voilure (bords d'attaque et de fuite, caisson de voilure externe, etc.) et basée sur le site de Filton dans l'entreprise GKN relève de cette logique<sup>2</sup>.

Cependant, il existe des risques dans l'adoption d'une structure modulaire extrême. D'une part, le positionnement des avionneurs dans un simple rôle d'architecte reste difficile au regard des contraintes d'intégrité du produit (Mouchnino, Sautel, 2007). En effet, les compétences et les activités externalisées rendent délicate la maîtrise du produit. D'autre part, il n'existe pas de déterminisme technologique qui conditionnerait l'organisation : comme le montrent Fixson, Ro et Licker (2005), la modularité ne s'impose pas de manière univoque selon que l'on se place dans la fabrication, l'assemblage ou la conception. Par conséquent, comme nous le verrons par la suite, la décision d'externaliser doit également prendre en compte d'autres critères que les coûts, tel que le comportement stratégique des autres acteurs de la filière.

### **1.2.2. L'émergence de nouvelles relations interentreprises au sein de l'industrie aéronautique**

L'industrie aéronautique se compose aujourd'hui d'un ensemble d'activités interdépendantes. Chaque activité est réalisée par des entreprises qui détiennent les compétences adéquates. La coordination de ces activités, qui sont fragmentées dans l'ensemble de l'industrie, revient aux avionneurs qui organisent le processus productif. La diversité des technologies intégrées dans l'avion pose le problème de la coordination d'activités hétérogènes et dispersées. En effet, les avionneurs et les équipementiers ne peuvent pas se cantonner à une simple relation de fourniture. Une coordination qualitative en amont de chaque programme est nécessaire pour définir des interfaces suffisamment stables, permettant la comptabilité des diverses technologies, mais également pour assurer l'efficacité du processus productif.

Cette double contrainte oblige, d'une part, l'avionneur à conserver une base de connaissance plus large que sa sphère productive. En effet, la réalisation d'une architecture est une phase qui nécessite une vision d'ensemble du processus de production et donc une connaissance des divers sous-ensembles et de leurs interactions. Cette compréhension des interdépendances

1. Ces tronçons livrés à l'usine d'assemblage de Toulouse sont déjà équipés (conditionnement d'air, carburant, circuits hydrauliques...).
2. L'unité près de Broughton, qui réalise l'assemblage des voilures et l'intégration des différents sous-systèmes, reste sous la responsabilité de l'avionneur.



par les avionneurs nécessite une connaissance du fonctionnement interne des modules. Toutefois, l'hétérogénéité des évolutions technologiques existant au sein des systèmes ne permet pas de stabiliser durablement l'architecture. Par exemple, l'introduction progressive de l'électronique dans l'avion a entraîné des effets systémiques (freins, moteurs, pressurisation de la cabine, dégivrage des ailes, etc.). L'externalisation de la production de plusieurs modules oblige ainsi Airbus à poursuivre ses recherches sur des technologies complémentaires, touchant à la composition interne des modules (électronique de puissance, composites, etc.), qui sont nécessaires à la détermination optimale des interfaces. Elle impose de connaître plus que ce que l'on produit (Brusoni, Prencipe, Pavitt, 2001) pour coordonner et accompagner l'évolution du produit.

D'autre part, l'avionneur doit développer des relations de coopération avec les acteurs impliqués dans les différents programmes. Afin de coordonner le processus productif et fixer les interdépendances, il associe dès les premières phases du programme l'ensemble des acteurs qui interviennent dans le cycle de vie du produit. Les relations entre avionneurs et systémiers se concrétisent à travers la mise en place de dispositifs collectifs de coordination qui permettent un échange régulier d'informations et de connaissances tout au long du programme. Cette coopération entre avionneurs et systémiers est devenue essentielle au regard de la nature des innovations, mais aussi des besoins d'adaptation. Ainsi Airbus met en place au début de chaque programme des « plateaux de développement » qui permettent d'associer, dès la phase de conception, les partenaires potentiels. Cette modalité tend à se renforcer dans le programme A350 et A30X, et plus généralement à travers la mise en place de la *New system policy* qui consiste à intégrer de plus en plus tôt les partenaires. L'objectif est d'optimiser l'architecture et de clarifier les tâches de chaque participant dès la phase de développement.

Cette approche repose sur l'utilisation de méthodes de travail en groupes intégrés rassemblant des équipes d'ingénieurs de chez Airbus et des fabricants de modules sur une période qui peut aller de six mois à deux ans (Igalens, Vicens, 2006). Le co-développement permet d'avoir à disposition des savoirs spécifiques sur chacun des modules. La déperdition des savoirs, du fait de l'externalisation de la production des modules, est alors atténuée par l'association des acteurs spécialisés aux phases de conception préliminaires. Par ailleurs, le travail collectif ainsi que la gestion des flux d'intrants lors de la production accroissent les volumes d'information entre les différents partenaires. La coopération passe alors par la mobilisation cohérente des technologies d'informations et de communication (maquette numérique 3D, conception assistée par ordinateur, intranet, etc.), mais également par la mise en place d'un langage commun (harmonisation

de la documentation, etc.). Dans le domaine des ressources humaines, ce travail collaboratif nécessite la mobilisation de nouvelles compétences de management au niveau technique pour gérer les équipes mais aussi des ingénieurs pluridisciplinaires capables de maîtriser des projets complexes (voir I.2.4). Les outils et méthodes, permettant la coordination du processus de production, sont essentiels du fait de la complexité des combinaisons. Par exemple, les problèmes de l'A380 montrent l'importance de ces instruments et surtout leur cohérence à l'intérieur d'Airbus. Les logiciels de conception, de gestion et les méthodes de travail varient au sein des différentes entités d'Airbus. La multiplicité des combinaisons demandées par les clients a rendu difficile la coordination du processus de production et d'assemblage.

Une critique peut toutefois être formulée. Ce type de coordination n'est pas sans poser des problèmes stratégiques pour l'architecte. En effet, l'une des principales difficultés pour Airbus, mais aussi pour Boeing, concerne la propriété de l'architecture qui est essentielle pour assurer les futures évolutions du produit. L'ouverture de l'architecture expose Airbus comme Boeing au risque de se voir contester leur position de leader au sein de la hiérarchie.

### **1.2.3. L'impact de la modularité sur la chaîne de fournisseurs**

Une nouvelle spécialisation s'opère dans la chaîne des fournisseurs qui fait écho au repositionnement et à la spécialisation des donneurs d'ordre comme Airbus ou Boeing. Il est possible de représenter la place qu'occupent les différentes entreprises dans l'organisation de la filière aéronautique selon deux axes.

D'une part, on peut distinguer les firmes selon la famille et le module fonctionnel pris en charge (voir schéma 2). Cette représentation n'est cependant pas restrictive. Ainsi il est possible de retrouver des entreprises comme le groupe Safran dans la fourniture de prestation d'ingénierie, dans la propulsion (filiale Snecma), dans les structures (filiales Messier Dowty et Messier Bugatti), ou encore dans la distribution d'électricité (Labinal).

D'autre part, la réorganisation de la chaîne productive peut être perçue comme une « pyramide hiérarchisée » (Kechidi, 2006) où il est possible de distinguer plusieurs niveaux. Selon le type d'activité réalisée (conception, production, commercialisation, livraison, etc.), mais aussi selon les responsabilités dans le programme. On peut distinguer au sein de chaque fonction plusieurs niveaux :

- Les systémiers et les sous-systèmeurs deviennent les seuls interlocuteurs des grands constructeurs et ils se voient confier la responsabilité de la réalisation complète de sous-ensembles (conception, production, certification et parfois les tests). En effet, les entreprises qui veulent rester

Schéma 2. La production de l'avion

Structure	Avionique	Propulsion	Cabine	Génération et distribution électrique
(GKN, Latécoère, Messier-Dowty, Spirit Aerosystems)	(Honeywell, Rockwell Collins, Thalès)	(General Electric, Rolls-Royce, Snecma, Pratt & Whitney)	(Zodiac, EADS Sogerma)	(Thalès, Rockwell Collins, Honeywell)
<b>Réalisation de l'outil de production</b> (Serin, Dedienne Aerospace, Seroma, Garigues)				
<b>Conception et ingénierie (Bureau d'études)</b> (Aeroconseil, Altran Group, Atos origin, Latelec, Safran)				
<b>Services de support</b> (IGE+XAO, Dassault Systèmes, IBM, PTC, Kuehne+Nagel, DHL)				

au rang 1 voient de ce fait augmenter le périmètre physique des pièces qui leur sont confiées, mais aussi le contenu des activités liées au cycle de développement du module. De plus, elles doivent désormais gérer les flux de production des acteurs de rang inférieur. La création de nouvelles compétences au sein de ces entreprises nécessite la mobilisation de ressources considérables (financières et humaines) afin de concevoir et réaliser les nouveaux produits, mais aussi d'organiser le réseau de sous-traitants dont ils ont désormais la charge. L'externalisation s'effectue au profit des fournisseurs de plus grande taille, voire de taille mondiale pour ceux de rang 1 (Frigant, 2008) qui sont capables d'assumer des coûts importants de R&D et d'assurer l'échelle de production au niveau mondial. Les avionneurs incitent leurs partenaires au regroupement et à la diversification. La vente des sites Airbus et Boeing à des entreprises comme GKN, Diehl-Thalès ou Daher (avec EADS Socata) s'inscrit dans cette logique de constitution de partenaires de rang 1 capables d'obtenir des économies d'échelle, afin de mieux amortir les investissements et d'assumer les risques grâce à la diversification des clients et des marchés (civil/militaire, donneurs d'ordre ou industries différentes). Ainsi une entreprise comme GKN réalise des aéro-structures dans les programmes militaires (Eurofighter, C-17) et civils (787, A380) mais aussi des auto-structures pour des entreprises comme Toyota ou Ford.

- Les fabricants de modules (ou équipementiers) fournissent des modules techniquement autonomes, mais leur maintien au rang 1 se trouve contesté. En effet, la réduction du nombre de fournisseurs oblige les entreprises de rang 1 à fournir des sous-ensembles de plus en plus complets,

déjà testés et certifiés. Dès lors certains équipementiers voient leur module intégré dans des sous-ensembles et des systèmes plus complets.

- Au niveau des rangs inférieurs on retrouve des sous-traitants de spécialité, ainsi que des sous-traitants de capacité qui gravitent autour des systémiers et des fabricants de modules. Sauf exception, ils n'ont plus de relation directe avec les avionneurs (donneurs d'ordre). A l'échelle européenne, ces entreprises sont confrontées à de nombreux défis. Leurs faibles niveaux de trésorerie et de fonds propres (Avice, Waelbroeck-Rocha, 2008) rendent difficiles l'augmentation rapide de leurs capacités de production et leur adaptation à de nouvelles technologies (notamment dans la maîtrise des composites). A cela s'ajoute la concurrence directe des entreprises étrangères pour des raisons essentiellement de réduction de coûts. En effet, les fabricants de modules et les systémiers délocalisent leurs productions afin de diminuer les coûts, mais également pour rester à proximité géographique de leurs clients. Souvent de petite taille (moins de 50 salariés), ces entreprises ont l'obligation de se réorganiser afin de pouvoir répondre aux demandes des rangs supérieurs (pression sur les prix, solutions-produits plus complètes, maîtrise des nouvelles technologies, localisation, cadence de production). Cette réorganisation passe nécessairement par des stratégies de regroupement capitalistique ou par la constitution de réseaux. L'objectif est de disposer de la taille nécessaire afin d'atteindre une échelle de production suffisante (diversification des clients internationaux, sous-ensembles plus importants) mais également de maîtriser des technologies complexes (moyens humains et techniques).

#### **1.2.4. L'organisation modulaire dans l'aéronautique : un bilan nuancé**

Le passage à la modularité organisationnelle reste profitable pour l'avionneur, elle lui permet de redistribuer une partie des risques et des coûts associés à l'activité productive. Tout d'abord l'autonomie croissante des producteurs de modules s'accompagne d'une répartition différente des responsabilités. Airbus partage ainsi les coûts de développement et de conception des modules avec ses différents partenaires. On estime que sur l'A380 les équipementiers ont pris en charge 30 % des dépenses de R&D (Haas, Larré, Ourtau, 2001). De plus, la responsabilité accrue des partenaires de rang 1 s'accompagne d'une prise de risque importante imposée par Airbus au travers les pratiques de *risk-sharing*<sup>1</sup>. Plus précisément, les investissements en équipement et en R&D (coûts non récurrents), consentis par les producteurs de modules, ne sont récupérés qu'à partir d'un certain nombre d'avions vendus. Ainsi sur le programme A380, le point mort serait

1. Sur le dernier programme 787 Dreamliner, Boeing a externalisé environ 75 % du risque technique et financier sur ses partenaires industriels grâce aux contrats de *Risk sharing partner*. Ce type de contrat entraîne une temporalité entre les dépenses liées à la conception et l'industrialisation d'ensembles complets (en début de programme) et les recettes qui se réalisent lors de la livraison du produit (c'est-à-dire six à sept ans après).

d'environ 300 à 400 appareils. Le cas échéant, si le seuil n'est pas atteint, le partenaire ne récupère pas la totalité de son investissement. Par conséquent, le problème pour un fournisseur est de s'assurer qu'il récupérera en volume produit les investissements qu'il a consentis au développement du programme. La stratégie modulaire permet aux avionneurs de transformer des coûts fixes qui reposent sur la détention d'actifs en coûts variables à travers l'achat de modules (Sautel, 2006).

Par ailleurs, la modularité organisationnelle requiert également une nouvelle gestion des ressources humaines. Jusqu'à présent les grands donneurs d'ordre s'appuyaient en partie sur la sous-traitance pour atténuer les aléas de l'évolution du marché aéronautique. Ce mode d'organisation semble aujourd'hui désuet au regard des nouvelles contraintes qui pèsent sur l'industrie aéronautique. Dans la pratique, la conception d'un avion ne repose pas seulement sur l'utilisation de schémas déjà connus mais plutôt sur la création de solutions nouvelles nécessitant l'approfondissement des savoirs détenus. Dans ces conditions, les ruptures dans la transmission des savoir-faire qui sont causées par des politiques de recrutement dites de *stop and go* (embauche massive dans les phases de croissance pour soutenir les nouveaux programmes et stagnation des recrutements lors des phases creuses) n'assurent pas la stabilité nécessaire à la création de solutions innovantes.

Paradoxalement, l'accélération de l'innovation provoque parfois des ruptures dans le savoir-faire de ces entreprises qui sont incompatibles avec une logique de réduction des délais de conception. L'avènement de l'avion « plus électrique » par exemple a rendu les autres sources d'énergies (pneumatique, mécanique...) peu à peu caduques et a profondément modifié l'architecture du produit, obligeant Airbus à développer les nouveaux savoirs requis en interne. Pour autant, la mise en place de solutions internes s'avère être une procédure qui nécessite un temps d'apprentissage très long, incompatible avec les contraintes de conception.

Le recours à une organisation modulaire permet aux avionneurs d'absorber une partie de ces contraintes. Désormais, les compétences d'expertise sur les modules et sur les systèmes sont déléguées aux partenaires qui s'occupent de la conception détaillée et de la production des modules. Cette logique va s'accompagner d'une part grandissante des ressources humaines qualifiées dans les effectifs totaux des entreprises. En effet, la proposition d'offres globales complexes oblige les partenaires de rang 1 à recruter et à former des ingénieurs et des techniciens experts, spécialisés notamment dans les nouvelles technologies, mais également des ingénieurs multidisciplinaires capables de mener à bien un projet complexe, c'est-à-dire de gérer les interactions techniques, de manager les différents acteurs internes. A l'avenir, le défi pour les entreprises va être de valoriser au mieux les deux fonctions afin d'éviter tout déséquilibre sur le marché.

En parallèle, cette organisation fragmentée nécessite la mise en œuvre d'outils organisationnels comme les plateaux de conception, mais aussi de nouvelles relations interentreprises (co-conception, mobilité des personnels, etc.) permettant de diminuer la déperdition des savoir-faire liés à l'externalisation. Pour autant, la nécessité pour les avionneurs de maîtriser l'ensemble du processus de production les oblige à renforcer leur gestion interne des ressources humaines, mais surtout à renforcer les mécanismes de coordination en raison de la dispersion des compétences nécessaires. Là encore, les besoins dans les fonctions d'encadrement sont essentiels afin d'assurer la réussite du travail collaboratif, ainsi que les négociations avec les sous-traitants (chef de projet et ingénieur technico-commercial).

La situation de l'aéronautique en matière d'emploi est difficile à évaluer du fait des différentes évolutions de cette industrie. Le nombre de commandes, en constante progression, assure à l'industrie un niveau de production et d'emploi élevé. Cependant les gains de productivité et la nature cyclique n'effacent pas la tendance à la baisse des effectifs. Bien évidemment, si l'on prend en compte l'évolution de l'industrie, cette tendance est probablement compensée par l'apparition de nouveaux systèmes et de nouveaux composants. L'enjeu devient alors de maintenir et de renforcer les activités à forte valeur ajoutée pour conserver le tissu industriel.

L'intérêt de cette réorganisation porte essentiellement sur l'évolution qualitative des effectifs. Le besoin considérable d'ingénieurs, de techniciens et d'ouvriers qualifiés est un enjeu crucial dans les années à venir. En effet, l'industrie fait face à deux problèmes : d'une part, le volume d'ingénieurs et de techniciens supérieurs risque dans le temps d'être insuffisant, car l'offre sur les marchés européens reste rigide (forte demande d'autres secteurs). Les grandes entreprises doivent alors puiser dans des viviers étrangers. C'est notamment le cas d'Airbus qui ouvre des centres de recherche à l'étranger et qui élargit son recrutement au niveau international. Ces tensions sont plus problématiques pour les petites entreprises. Dans certains secteurs, le maintien et l'amélioration de savoir-faire risquent, par conséquent, d'être difficiles à assurer par manque d'effectifs qualifiés. D'autre part, l'augmentation des départs à la retraite des dirigeants, mais aussi des cadres et des ingénieurs est susceptible de déstabiliser les petites entreprises qui n'ont pas codifié leurs savoir-faire et leurs connaissances.

Les avantages d'un passage à la modularité pour les fournisseurs sont beaucoup plus mitigés. D'un côté, ils ne sont plus attachés à un seul donneur d'ordre et ils peuvent désormais améliorer leurs débouchés par des stratégies multi-clients. Le développement du marché rendu possible par cette stratégie leur permet d'amortir leurs investissements sur une plus grande échelle de production. C'est le cas de Latécoère qui a considérablement réduit sa dépendance en partageant son portefeuille de clients entre Airbus

(39 %), Boeing (30 %), Dassault (13 %), Embraer (13 %) et divers (5 %) <sup>1</sup>. Cette autonomie lui permet entre autre d'amortir ses investissements en R&D en répartissant les coûts sur plusieurs clients ou plusieurs programmes. Par ailleurs, cette indépendance permet une spécialisation croissante des fournisseurs sur un nombre réduit de modules et plus particulièrement sur des technologies spécifiques. Concentrés sur des ensembles plus restreints, certains producteurs peuvent mieux maîtriser et renouveler leurs modules. Cette spécialisation permet alors aux producteurs de modules de se positionner sur des activités à plus forte valeur ajoutée que la simple fabrication de pièces.

Toutefois, cette modularité imparfaite des activités, liée au fait qu'il n'existe pas une déconnection totale entre production et connaissance, pose la question des bénéfices de cette stratégie. En effet, les coûts de coordination s'avèrent plus élevés que dans une stratégie purement modulaire. Les nombreuses interactions nécessaires lors des phases de conception du produit et le développement de modules spécifiques entraînent un accroissement des coûts de transaction. Ceci étant, le fait de confier des modules plus larges a permis de diminuer le nombre d'intervenants en contact direct avec les avionneurs, compensant au niveau général l'augmentation des coûts de coordination.

Il est ainsi possible de vérifier que l'efficacité d'une architecture de type produit modulaire doit s'accompagner d'une architecture organisationnelle adaptée. Cependant, il est important de ne pas négliger la variable stratégique. En effet, il ne faut pas perdre de vue qu'au-delà de l'efficacité économique d'une structure productive, il existe des acteurs qui sont toujours en concurrence. Or la mise en place d'une organisation modulaire modifie complètement les rapports de force qu'entretiennent les acteurs au sein de l'industrie.

## II. Les implications de la modularité pour l'aéronautique

La constitution d'une architecture modulaire et son renforcement au niveau organisationnel se traduisent par une spécialisation accrue des acteurs qui a pour conséquence de répartir la production d'un avion sur un ensemble plus large de firmes. Cette logique permet ainsi aux avionneurs d'accéder à et d'intégrer des technologies de plus en plus complexes. L'efficacité économique d'une organisation modulaire est censée reposer sur le principe de substituabilité des acteurs au sein du processus de production. Cependant, l'externalisation des activités modifie le poids et surtout l'influence des fournisseurs dans l'industrie. Les avionneurs voient en effet leur importance diminuer au profit de leurs partenaires qui sont paradoxalement de moins en

1. Source site Internet Latécoère, « Lettre aux actionnaires » de février 2009.

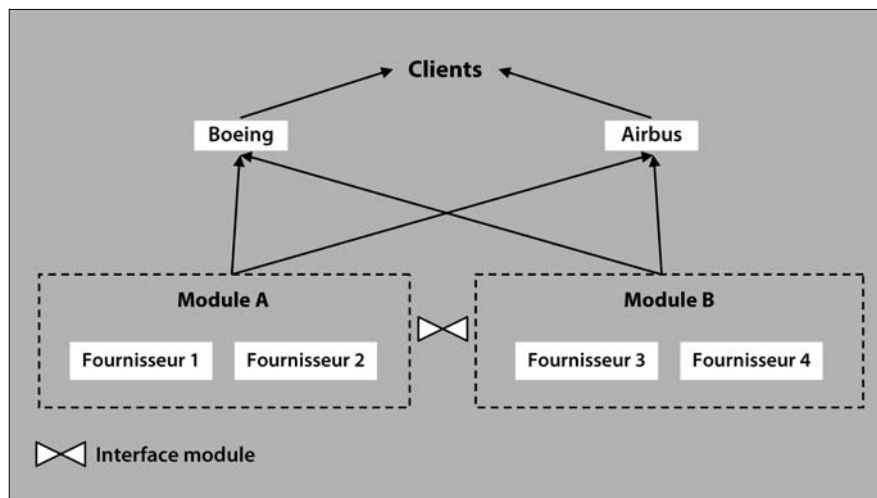
moins substituables entre eux. L'architecte se retrouve donc confronté à une double concurrence à la fois horizontale et verticale.

**II.1. Les incidences sur la concurrence horizontale**

Les analyses de la concurrence au sein de l'industrie aéronautique privilégient traditionnellement le marché final du produit et donc les problèmes de rivalité entre les deux grands avionneurs que sont Airbus et Boeing, en ignorant le rôle des autres acteurs de la filière. Inversement, le passage à une structure modulaire conduit à distinguer les différents éléments qui composent l'avion et à placer par conséquent l'analyse de la concurrence à l'intérieur du produit, dans une structure commune à tous les acteurs. En effet, la codification des interfaces, à la base de la décomposition technique du produit, permet normalement de limiter les interdépendances entre les sous-ensembles. Sur cette base, des acteurs autonomes et indépendants peuvent produire des sous-ensembles sans se soucier des problèmes de coordination et d'assemblage.

Le schéma ci-dessous représente de façon simplifiée cette nouvelle organisation modulaire. Afin d'en faciliter la compréhension nous considérons que l'avion est constitué de deux éléments : les modules A et B, délimités sur le schéma par des pointillés. Ces modules sont distincts et reliés par une interface préalablement définie par les architectes. Dès lors, plusieurs fournisseurs peuvent produire des modules avec des fonctions semblables sans se soucier de leur compatibilité avec des modules complémentaires. Les nouveaux entrants n'ont plus besoin de maîtriser l'ensemble de l'architecture pour proposer une solution (Sautel, 2006). Cette spécialisation des

**Schéma 3. Le renforcement de la concurrence intra-module**





activités, permise par la décomposition du processus productif, est censée faciliter l'entrée des entreprises qui détiennent les compétences nécessaires à la fabrication des modules. Cette structure modulaire favorise nécessairement la concurrence, au niveau intra-modulaire, au profit des architectes qui voient leur pouvoir de négociation renforcé.

Cependant, certains fournisseurs ou systémiers peuvent chercher à se soustraire à cette pression en affaiblissant la position des architectes au sein de la structure modulaire. Cela consiste, pour l'essentiel, à créer des nouveaux débouchés ou de nouveaux accès au marché final. L'architecte se cantonnant strictement à son rôle, certains fournisseurs ou systémiers peuvent être tentés d'acquérir des compétences en termes de coordination et de rivaliser ainsi avec l'architecte. Il s'agit alors d'une concurrence horizontale, car elle porte sur l'activité finale réalisée par Airbus et Boeing. Les barrières à l'entrée constituées par des compétences technologiques sont abaissées grâce à la présence de firmes capables de fournir les savoirs techniques nécessaires à la réalisation du produit. De façon imagée, le nouvel entrant n'a plus qu'à se servir dans les modules déjà présents et à les combiner afin de fournir un produit qui correspond à la demande du client. A court terme, cette option est cependant peu envisageable du fait de la nature des investissements et des compétences nécessaires à la construction des avions. Néanmoins elle n'est pas impossible à long terme, au regard des ambitions affichées par des pays comme la Chine, qui sont déjà présents sur le marché des avions de moins de cent places.

Il apparaît ainsi que le fonctionnement ouvert d'une architecture modulaire favorise la concurrence et peut être avantageuse pour le client final. Cependant, la mise en place d'une architecture ouverte expose au risque de voir certains acteurs se réapproprier à leur bénéfice cette architecture.

## ***II.2. Les incidences sur la concurrence verticale***

La forte concurrence et les stratégies multi-clients peuvent conduire à des mouvements de concentration pour la fourniture d'un module et favoriser la formation d'oligopoles à ce niveau-là. Cette concentration découle de l'accroissement des coûts et des responsabilités supportés par les fournisseurs, accroissement consécutif à l'adoption de la modularité. En effet, les fournisseurs qui veulent rester au rang 1 doivent prendre en charge des actifs de production, ainsi que des coûts de développement et de tests de plus en plus importants. Au regard de sa taille, mais aussi de ses capacités financières plus importantes, il n'est pas impossible d'imaginer qu'un fournisseur puisse chercher à étendre son pouvoir à l'ensemble de l'architecture, sans pour autant concurrencer directement les avionneurs comme dans le cas précédent.

### **II.2.1. Une situation de monopole sur la fourniture d'un module**

L'entreprise leader sur un sous-ensemble peut en effet choisir de se rendre propriétaire de l'architecture contenant son produit. Elle refuse dans ce cas de se conformer aux interfaces standardisées et elle met en place des interfaces spécifiques entre son produit et le reste des sous-ensembles. Sa stratégie consiste alors à profiter d'une position dominante acquise au sein d'une concurrence intra-module pour imposer une concurrence inter-module. La réussite d'un tel comportement repose sur la capacité d'attractivité du sous-ensemble maîtrisé par la firme, qui doit être suffisante pour persuader les producteurs de modules complémentaires de se conformer aux nouvelles interfaces privées. Bien évidemment cette stratégie n'est possible que pour une entreprise qui parvient (par innovation) à détenir un actif incontournable au sein d'une architecture unique. Elle se retrouve alors en position de monopole, ce qui lui permet de contrôler indirectement l'architecture et son évolution en orientant l'innovation dans la direction qui lui est favorable.

Une deuxième solution, plus réaliste dans le milieu aéronautique, consiste à contester le partage de la rente qui est issue de la coopération industrielle entre les différentes parties prenantes du produit. En effet, la position centrale de l'architecte lui garantit *a priori* un certain contrôle sur cette rente. Cependant, la nécessité où il se trouve de coopérer transforme les systémiers en interlocuteurs incontournables en vue de la réalisation de la rente. Par conséquent, ces derniers sont en mesure d'exiger un partage qui leur soit plus favorable, puisqu'ils sont désormais des parties prenantes du processus de conception et de développement du produit final. Dans ce cas, la fragilisation de la position concurrentielle du grand constructeur ne vient pas d'une contestation de son rôle d'architecte, mais d'une contestation verticale du partage de cette rente (Sautel, 2006). A titre d'exemple, Hamilton Sundstrand s'est trouvé être le seul fournisseur du système RAT (*Ram air turbine*). Sa position centrale sur la fourniture de ce système a renforcé son pouvoir de négociation auprès d'Airbus et de Boeing.

### **II.2.2. Une concentration conglomérale sur la fourniture de module**

Une entreprise ayant acquis une domination sur certains modules peut être tentée d'accroître son pouvoir de marché au sein de l'architecture en produisant d'autres modules, complémentaires au sien, qu'elle relie par des interfaces privées. Dès lors, l'entreprise développe des activités sur des marchés annexes, soit en interne, soit par le rachat d'entreprises présentes sur ces marchés. Cette stratégie de « remodularisation » revient à contourner la logique d'une structure modulaire, en neutralisant la concurrence sur un module par l'utilisation d'un pouvoir de marché complémentaire. Cette stratégie, qualifiée de *umbundling* (ou de vente liée), n'est bénéfique pour

l'entreprise que si les concurrents sont incapables de fournir un ensemble similaire. Par conséquent, elle peut permettre à l'entreprise de disposer d'un pouvoir de négociation accru vis-à-vis de l'architecte. Elle peut alors conditionner la vente de son module à la vente de modules complémentaires. Dès lors, elle se sert de son module qui est incontournable (basé sur des critères technologiques ou commerciaux) pour vendre des modules complémentaires à moindres coûts et éliminer ainsi la concurrence sur des marchés complémentaires (Sautel, 2006).

Ce risque a été soulevé par la Commission européenne lors du projet de fusion entre General Electric et Honeywell, en juillet 2001. Honeywell fabrique des produits avioniques et non avioniques, tandis que General Electric réalise des systèmes de contrôle de moteur et développe des activités de financement et de crédit-bail dans l'aéronautique. Le refus exprimé par la Commission vient du fait que General Electric et Honeywell auraient pu, grâce à cette fusion, fournir des systèmes intégrés à prix réduits et acquérir ainsi une position dominante. Cette situation aurait renforcé le pouvoir de la nouvelle entité, formée par la fusion entre General Electric et Honeywell, aux dépens des autres concurrents mais aussi des avionneurs.

### **II.2.3. Maîtrise amont et aval du processus de production**

La décomposition de la structure productive permet à certains acteurs de se positionner à plusieurs niveaux de la chaîne de valeur. Dans une organisation modulaire, l'architecte est le seul à être en relation avec le client final puisqu'il commercialise le produit final. Les actions des fournisseurs sont alors largement dépendantes de la stratégie des architectes. La modularité productive permet de court-circuiter cette hiérarchie. Un fournisseur, positionné en amont de l'architecte dans le processus de production, peut chercher à se positionner en aval de l'architecte. Dans le cas présent, cela peut être réalisé en proposant directement au client des activités de service (maintenance, réparation, financement, *leasing*, etc.). Cette relation entre client final et fournisseur permet de favoriser l'innovation, mais elle permet également de contourner le pouvoir de l'architecte et, par conséquent, de renforcer la position du fournisseur sur le marché des modules. En effet, ces liens ne sont pas neutres pour l'architecte, puisque dans chaque nouveau programme Airbus, par exemple, prend en compte la notation que réalisent les compagnies aériennes sur les fournisseurs. Parfois, ces mêmes clients, pour des raisons qui leur sont propres, peuvent inciter les architectes à opter pour certaines options technologiques et donc pour certains fournisseurs. C'est notamment le cas dans la fourniture de moteurs où, pour des raisons de coût, les compagnies aériennes souhaitent souvent avoir le choix.

## Conclusion

L'industrie aéronautique doit faire face à deux principaux défis. Le premier se situe au niveau organisationnel. En effet, l'intégration de fonctionnalités et de technologies nouvelles nécessite la maîtrise de compétences toujours plus nombreuses et diverses afin de réaliser le produit. L'incapacité des principaux avionneurs à maîtriser l'ensemble des activités nécessaires à la réalisation d'un avion les oblige à se repositionner en amont (conception générale) et en aval (assemblage et vente) du processus de production. Cependant, cette stratégie qui se matérialise par l'externalisation des activités de conception et de production de modules ne résout pas tous les problèmes rencontrés par des entreprises comme Boeing ou Airbus. Ainsi, pour reprendre la main sur la gestion de la chaîne des fournisseurs, Boeing a été contraint de racheter, en cours de programme, une partie de la société Global Aeronautica (*joint-venture* entre Alenia Aeronautica et Vought Aircraft Industries) qui réalisait le pré-assemblage d'une partie du fuselage du 787. De son côté, Airbus a également subi des retards sur l'A380 qui sont principalement liés à des problèmes de coordination technique entre le site de production allemand (Hambourg) et le site d'assemblage français (Toulouse). L'utilisation de logiciels différents entre les deux sites a obligé Airbus, lors de l'assemblage, à câbler les différents tronçons de l'avion de façon manuelle, en raison des nombreuses modifications de configuration qui avaient été demandées par les clients. Ces problèmes mettent en avant la nécessité de repenser et de recréer de nouveaux outils organisationnels, essentiels pour la coordination à la fois des activités internes à l'entreprise, ce qui passe en partie par une homogénéisation des outils et des méthodes de travail, et des activités externes à l'entreprise, ce qui est mis en avant par le projet VIVACE<sup>1</sup> de l'Union Européenne. Par conséquent, la complexité croissante de l'avion, liée à l'externalisation mais également aux évolutions hétérogènes des technologies, impose plus que jamais aux avionneurs de coordonner l'ensemble des activités du processus de production.

Le second défi, qui n'est pas indépendant du premier, concerne les enjeux concurrentiels. En effet, la mise en place d'une organisation modulaire, qui consiste à répartir les activités sur un grand nombre d'acteurs indépendants, modifie considérablement les différents rapports de force existant au sein de l'industrie aéronautique. L'externalisation des activités engendrée par la modularité a permis aux donneurs d'ordre de reporter une partie des investissements, mais également une partie des risques liés à un programme, sur les fournisseurs et les sous-traitants. Cette stratégie a cependant considérablement fragilisé leur position au bénéfice de grands systémiers, seuls capables d'assumer des investissements et des risques qui

1. VIVACE : *Value Improvement through a Virtual Aeronautical Collaborative Enterprise* (Musquère, 2007).

sont parfois aussi importants que ceux supportés par les avionneurs. En effet, les avionneurs voient s'effriter leur position dans le partage de la rente issue de la collaboration avec les fournisseurs de modules, et ils se voient aussi concurrencer sur le marché final en raison de la baisse des barrières technologiques. Cette situation concurrentielle peut évidemment nuire dans le temps à la nature des relations collaboratives mises en place pour élaborer le produit.

Cette stratégie de production modulaire ne peut donc être efficace qu'à la condition que les grands constructeurs soient capables de coordonner dans le temps les évolutions d'un processus de production fragmenté entre des acteurs poursuivant des objectifs potentiellement divergents.

## Références bibliographiques

- Aoki M., Takizawa H. (2002), « Information, Incentives, and Option Value: The Silicon Valley Model », *Journal of Comparative Economics*, n° 30, p. 759-786.
- Avice A., Waelbroeck-Rocha E. (2008), « Trois scénarii d'avenir du secteur aéronautique en Midi-Pyrénées : diagnostic de la filière régionale, enjeux prospectifs et préconisations d'action », Rapport du Bureau d'information pour les entreprises (BIPE). Site Internet : [www.lesechos.fr/medias/2008/1118//300309979.pdf](http://www.lesechos.fr/medias/2008/1118//300309979.pdf).
- Baldwin C.Y., Clark K.B. (2000), *Design Rules: The Power of Modularity*, MIT Press, Cambridge.
- Brusoni S., Prencipe A., Pavitt K. (2001), « Knowledge Specialisation, Organizational Coupling, and the Boundaries of the Firm: Why Do Firms Know More than They Make? », *Administrative Science Quarterly*, n° 46, 4, p. 597-621.
- Cochennec Y. (2008), « Comment Airbus fait durer la famille A320 », *Air&Cosmos*, n° 2119, p. 18-20
- Fixson S.K., Ro Y., Liker J.K. (2005), « Modularization and Outsourcing: Who Drives Whom? », *International Journal of Automotive Technology and Management*, n° 5, 2, p. 166-183.
- Frigant V. (2004), « La modularité : un fondement pour des firmes architectes ? », *Cahier du GRES*, n° 2, janvier.
- Frigant V., Talbot D. (2004), « Convergence et diversité du passage à la production modulaire dans l'aéronautique et l'automobile en Europe », *Actes du GER-PISA*, n° 37, septembre, p. 107-118.
- Frigant V. (2008), « L'impact de la production modulaire sur l'approfondissement de la Division Internationale des Processus Productifs (DIPP) », *Revue d'économie politique*, n° 117, 6, p. 935-959.
- Haas J., Larre F., Ourteau M. (2001), « R&D dans le secteur aéronautique et spatial : tensions liées à un contexte nouveau », *Les notes du LIRHE*, n° 348.
- Henderson R., Clark K. (1990), « Architectural Innovation: The Reconfiguration of Existing Product Technologies and the Failure of Established Firms », *Administrative Science Quarterly*, n° 35, 1, p. 9-30.
- Igalens J., Vicens C., (2006), « Les mutations dans le secteur aéronautique : le cas d'Airbus en Midi-Pyrénées », MIRE, site Internet : [www.mire-restructuration.eu](http://www.mire-restructuration.eu).
- Kechidi M. (1996), « Coordination inter-entreprises et relations de sous-traitance : le cas d'Aérospatiale », *Revue d'Economie Régionale et Urbaine*, n° 1, p. 99-120.
- Kechidi M. (2006), « Dynamique des relations verticales dans l'industrie aéronautique : une analyse de la sous-traitance d'Airbus », *Cahier du GRES*, n° 10.
- Mouchnino N., Sautel O. (2007), « Coordination productive et enjeux concurrentiels au sein d'une industrie modulaire : l'exemple d'Airbus », *Innovations*, n° 25, p. 135-153.
- Muller P. (1988), *Airbus l'ambition européenne, logique d'Etat, logique de marché*, L'Harmattan, collection Logiques Sociales.
- Musquère A. (2007), « Vivace met le virtuel au cœur de l'entreprise », *Air&Cosmos*, n° 2103, p. 34-35.

- Richardson G.B. (1972), « The Organisation of Industry », *Economic Journal*, n° 82, p. 883-96.
- Sanchez R., Mahoney J.T. (1996), « Modularity, Flexibility and Knowledge Management in Product and Organization Design », *Strategic Management Journal*, n° 17, Winter Special Issue, p. 63-76.
- Sautel O. (2006), « Dé-intégration verticale et Théorie de la firme », Thèse de doctorat en sciences économiques, Université de Nice – Sophia Antipolis, décembre.
- Simon H.A. (1969), *The science of the artificial*, MIT Press, Cambridge.
- Talbot D. (1998), « Les principes institutionnalistes des dynamiques industrielle et spatiale : le cas du groupe Aérospatiale », Thèse de doctorat en sciences économiques, Université des Sciences Sociales de Toulouse, décembre.
- Ulrich K.T. (1995), « The Role of Product Architecture in the Manufacturing Firm », *Research Policy*, vol. 24.