



HAL
open science

**PROXIMITES ET LOGIQUE MODULAIRE DANS
L'AUTOMOBILE ET L'AERONAUTIQUE: VERS
UNE DUALISATION DES ESPACES
D'APPROVISIONNEMENT**

Vincent Frigant, Damien Talbot

► **To cite this version:**

Vincent Frigant, Damien Talbot. PROXIMITES ET LOGIQUE MODULAIRE DANS L'AUTOMOBILE ET L'AERONAUTIQUE: VERS UNE DUALISATION DES ESPACES D'APPROVISIONNEMENT. A. RALLET, A. TORRE. La proximité à l'épreuve des technologies de communication, L'Harmattan, pp. 39-62, 2007. hal-02376436

HAL Id: hal-02376436

<https://uca.hal.science/hal-02376436>

Submitted on 22 Nov 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**PROXIMITES ET LOGIQUE MODULAIRE DANS L'AUTOMOBILE ET
L'AERONAUTIQUE : VERS UNE DUALISATION DES ESPACES
D'APPROVISIONNEMENT**

Vincent FRIGANT et Damien TALBOT

**E3i
IFReDE-GRES**

Université Montesquieu-Bordeaux IV
Avenue Léon Duguit
33 608 PESSAC CEDEX

frigant@u-bordeaux4.fr
talbot@u-bordeaux4.fr

dans A. RALLET, A. TORRE. (eds), 2007, La proximité à l'épreuve des technologies de communication, L'Harmattan, Paris, pp. 39-62.

Fondamentalement distinctes par les marchés visés et par leur trajectoire de développement, les industries aéronautique et automobile peuvent toutefois faire l'objet d'un rapprochement si l'on considère l'action structurante qu'elles possèdent sur le tissu industriel européen *via* leurs commandes. Or, leurs réseaux d'approvisionnement sont en proie depuis plusieurs années à d'intenses recompositions. Les frontières des firmes et les processus de coordination entre donneurs et preneurs d'ordres (fournisseurs, sous-traitants et équipementiers) se redéfinissent conduisant à une restructuration globale des chaînes de valeur (Brocard, Donada, 2003 ; Frigant, Talbot, 2003). Mais qu'en est-il de la géographie des relations inter-entreprises ? Au-delà des diversités sectorielles, l'objet de ce chapitre est de souligner les points de convergence entre ces deux industries concernant la géographie de leurs relations verticales.

Notre démarche se fonde sur une approche en termes de compétences selon laquelle le processus d'externalisation est perçu fondamentalement comme la résultante des spécialisations productives acquises par les firmes au fil des apprentissages historiquement constitués et validés/contestés par le marché. Compte tenu des délais de recouvrement des investissements, les modifications organisationnelles procèdent de manière discrète au gré des renouvellements des produits. Ce positionnement conduit à considérer que l'externalisation, à la fois dans ce qu'elle recouvre et dans ses modalités, est en partie déterminée par les

caractéristiques des processus productifs engagés. Dès lors, saisir les recompositions des relations d'approvisionnement repose sur l'identification des ruptures dans les manières de produire et d'organiser la coordination inter-entreprises, qui peuvent se matérialiser à l'occasion du développement de nouveaux modèles (avion, automobile).

La double hypothèse que nous voudrions soutenir ici est que les deux industries connaissent de telles ruptures et que celles-ci induisent une forme de convergence dans leurs relations d'approvisionnement dont on identifie tout particulièrement l'acuité dans la reconfiguration des relations de proximité entre donneurs et preneurs d'ordres.

Un élément de rupture perceptible dans les caractéristiques des processus productifs mis en œuvre s'articule autour de l'adoption de la production modulaire (ou modularité). La première section a pour objet de revenir sur la définition de la production modulaire qui se présente comme une nouvelle matrice d'un modèle cohérent d'organisation des relations verticales inter-entreprises (Baldwin, Clark, 2000 ; Sako, 2003). La deuxième section se focalise sur les implications géographiques de ce couple technico-organisationnel. La modularité renouvelle le jeu des contraintes/opportunités spatiales par le biais des modalités de coordination inter-entreprises qu'il convient de mobiliser. Ce chapitre s'attache à montrer qu'elle se traduit par un double mouvement *a priori* contradictoire mais compréhensible dans une perspective modulaire. D'une part, un renforcement du rôle de la proximité géographique qui apparaît comme un élément constitutif de la mise en place de la logique modulaire. D'autre part, un relâchement de la contrainte de proximité géographique pour une partie des acteurs de la chaîne de valeur. Ces deux sous-parties seront étayées par des éléments empiriques concernant les évolutions des localisations des équipementiers et fournisseurs des industries aéronautique et automobile.

I. La modularité : d'une architecture produit à une architecture organisationnelle

En quelques années la modularité est devenue une des questions les plus débattues au sein des travaux d'économie industrielle et de gestion des organisations portant sur les industries d'assemblage (Fixson, 2003). Placée au rang de paradigme productif par certains auteurs (Rogers, Bottaci, 1997), la modularité ouvre de nombreuses opportunités du double point de vue technologique et organisationnel. De fait, la modularité se conçoit en premier lieu comme une solution d'ordre technologique pour gérer la complexité croissante des produits. Solution technologique qui vient se répercuter dans le champ organisationnel. Bien qu'intrinsèquement liées, nous distinguerons ces deux dimensions dans notre analyse afin d'en clarifier les enjeux et afin de mieux rendre compte des évolutions en cours dans les deux industries qui nous préoccupent, l'automobile et l'aéronautique.

1.1. La modularité comme une architecture produit

Le développement de la modularité s'inscrit dans le cadre plus large des réflexions sur la complexité systémique ainsi que l'énonçaient clairement les travaux de Simon (1962). Transposées au monde industriel, les recherches sur la modularité relèvent des tentatives de décomposer les systèmes complexes en des éléments intermédiaires, eux-mêmes simples ou complexes, plus aisés à concevoir, produire et assembler. Dans un contexte de modularité pure, et pour fixer les idées, la démarche des ingénieurs consiste à décomposer le produit final en une série de sous-ensembles qui sont indépendants dans leur développement et dans leur production et, simultanément, interdépendants lorsqu'il s'agit de les associer pour former le

produit final. De manière triviale, il s'agit en quelque sorte de concevoir les briques élémentaires (le module) d'un jeu de Lego que l'on peut associer de manière libre pour construire différents objets (le produit final). Le point clé ici est qu'il est possible d'assembler de différentes manières les briques du jeu de Lego car les tenons et mortaises de chaque élément du jeu, sont fixes, partagés et définis *ex ante*. C'est ce que l'on appelle les interfaces dans le vocabulaire de la modularité.

Si cette image est illustrative, elle pose néanmoins un problème de récursivité car dans la réalité des produits industriels, il est illusoire de trouver "la" brique élémentaire. Aussi en considérant que chaque sous-ensemble peut lui-même découler de l'assemblage de composants physiques distincts, une définition de la modularité peut être proposée à partir de la notion d'architecture produit (Ulrich, 1995).

Selon lui, l'architecture d'un produit définit la manière dont sont agencés les éléments fonctionnels et les composants physiques formant le système global (le produit). Une architecture se spécifie alors en répondant à trois séries de questions.

- i. Comment sont agencés les différents éléments fonctionnels du produit complexe ? Cet agencement détermine la performance globale du produit ;
- ii. Comment s'effectue le passage de ces éléments fonctionnels aux composants physiques ? Ce sont ces derniers qui seront concrètement intégrés dans le produit. Les questions essentielles consistent à savoir si une fonction donnée doit et/ou peut être réalisée par un seul ou plusieurs composants ;
- iii. Comment sont reliés les composants entre eux et avec le système global ? On s'interroge alors sur les interfaces qui régissent les interactions physiques entre les composants. Ces interfaces sont dites couplées si une modification d'un composant implique une modification subséquente chez le composant relié. Elles sont dites découplées si un changement dans un composant n'implique pas de changement dans l'autre.

Le croisement de ces trois dimensions permet d'élaborer une définition des architectures produits (Ulrich, 1995, pp. 422-426). *Une architecture est modulaire lorsqu'il existe, d'une part, une identité entre composant physique et fonction, et d'autre part, un découplage des interfaces reliant les composants.* En revanche, une architecture produit est qualifiée "d'intégrale" lorsqu'il n'est pas possible d'associer un composant physique à une fonction et/ou que les interfaces entre les composants sont couplées.

Ainsi définie, l'architecture modulaire recouvre bien l'essentiel des caractéristiques du jeu de Lego. Elle permet en tout cas de bien saisir que la complexité d'un produit système peut être fortement réduite si on parvient d'une part à concevoir des modules correspondant à un minimum de fonctionnalités possibles (dans le modèle pur d'Ulrich, une seule), d'autre part à concevoir des interfaces stables reliant entre eux les différents modules.

La notion d'interface est une notion centrale dans les travaux sur la modularité car, une fois les interfaces spécifiées, on peut effectivement concevoir, produire, modifier les modules comme on l'entend à partir du moment où ils respectent les caractéristiques requises de l'interfaçage. Dans cette perspective, il est possible par exemple de substituer certains modules par d'autres (comportant de nouvelles fonctionnalités ou possédant des performances intrinsèques supérieures) au cours du cycle de vie du produit (Langlois, Robertson, 1992). Les produits informatiques sont familiers de ce genre de pratique puisqu'il est possible de changer le disque dur de son PC, d'accroître la mémoire vive, d'installer un graveur de DVD à la place du lecteur CD... sans devoir changer les autres composants ni, *a fortiori*, l'ensemble de l'unité centrale. Plus généralement, la modularité s'avère porteuse de nombreuses vertus

puisqu'elle rend compatible différenciation des produits et production de masse, accélère l'introduction d'innovations incrémentales (portant sur les modules), facilite le service après-vente et la mise à jour des composants (modules) et, dans le cadre étroit de l'architecture, réduit les délais et les coûts de conception (Langlois, Robertson, 1992 ; Ulrich, 1995 ; Garud, Kumaraswamy, 1995 ; Sanchez, Mahoney, 1996 ; Baldwin, Clark, 2000 ; Schilling, 2000).

Si l'intérêt économique de la modularité ne fait guère l'objet de discussion chez la plupart des analystes, il reste que la question se pose de savoir comment en capter et en valoriser au mieux les avantages. De fait, en posant cette question, l'analyse se déplace des propriétés technico-économiques de la modularité vers les caractéristiques organisationnelles des firmes qui cherchent à la mettre en œuvre.

1.2. Les enjeux organisationnels de la modularité

La modularisation du produit ne peut se faire sans que l'organisation de la firme en soit modifiée sous peine de ne pas en exploiter pleinement les opportunités (Sanchez, 2000). A la suite de Ulrich, la décomposition du produit induite par la modularité amène à distinguer trois éléments : les modules, les interfaces et l'architecture d'ensemble. Dans ce contexte, la modularité porte en elle-même les germes d'un approfondissement de la division du travail dans la mesure où rien n'oblige à considérer qu'une seule et même firme s'occupe simultanément des trois, et encore moins qu'elle réalise l'ensemble des modules. Au contraire, l'intérêt de la modularité est d'étendre la division *institutionnelle* du travail en favorisant l'émergence de firmes spécialisées en charge d'un ou d'une série de modules donnés et d'une firme en charge de définir l'architecture globale et la spécification des interfaces (Langlois, 2003).

Dans une architecture strictement modulaire, deux types d'acteurs sont identifiables : la firme architecte et les fournisseurs de modules (Frigant, 2004.a). La fonction de l'architecte est de définir les caractéristiques générales du produit et de spécifier les interfaces. Les fournisseurs de modules ont pour responsabilité de concevoir, produire et améliorer les modules. Si cette organisation de la chaîne d'approvisionnement ne semble pas *a priori* véritablement novatrice dans son principe, elle l'est en ce qu'elle permet d'amplifier la spécialisation fonctionnelle des firmes. Dit autrement, la modularité facilite, par rapport à d'autres architectures-produits, l'approfondissement de la désintégration verticale de la firme architecte et, parallèlement, l'extension de la délégation des tâches confiées aux fournisseurs de modules (Sturgeon, 2002).

Une des raisons justifiant cette spécialisation fonctionnelle provient du fait que l'architecte n'a plus besoin de connaître les caractéristiques intrinsèques des modules. Baldwin et Clark (2000) introduisent à ce titre une distinction utile entre éléments visibles et invisibles. Le rôle de l'architecte se limite à la définition des éléments *visibles* du système. Les éléments visibles concernent les points de rencontres entre les composants, c'est-à-dire les interfaces, et, plus généralement les spécifications fonctionnelles et physiques (taille, poids) qui sont allouées au module. Dans cette perspective, le contenu même du module que ce soit dans l'agencement physique des composants (et leurs propriétés intrinsèques), ou dans l'agencement fonctionnel des sous-systèmes incorporés dans ce module, peuvent demeurer *invisibles* : toutes les parties liées au développement du produit n'ont pas besoin de détenir l'ensemble des informations pour réaliser leurs propres tâches. Dès lors, la modularité favorise la décomposition des tâches, au moins pour les décisions détaillées. Il est alors possible de confier la réalisation de chaque module à des agents spécialisés sur tel ou tel type de fonctionnalité ou de matériaux.

La modularité concilie donc spécialisation des tâches et autonomie des équipes impliquées dans la conception/production ce qui devrait accroître l'efficacité d'ensemble, notamment parce qu'elle accélère l'exploitation des apprentissages dynamiques de compétences désormais plus focalisées (Sanchez, Mahoney, 1996). En effet, la spécialisation induit une reconfiguration du registre des compétences à mobiliser (Brusoni, Prencipe, Pavitt, 2001). L'architecte doit posséder des connaissances liées à la définition de l'architecture produit, notamment les connaissances technologiques liées à l'identification des interactions entre modules, mais aussi des connaissances marketing qui lui permettent de concevoir des produits commercialement viables. Les responsables de modules vont quant à eux recentrer leurs compétences sur celles directement liées à la production des éléments particuliers dont ils ont la charge.

La modularité infléchit dès lors l'arbitrage entre spécialisation des tâches et centralisation résultant de la contrainte de coût associée à la transmission, au recueil et traitement de l'information, dans la mesure où la coordination peut, *théoriquement*, se faire par la mobilisation de canaux de communications relativement simples basés sur les technologies de l'information (*Product Data Management* (PDM), Echanges de Données Informatisées (EDI)...) (Sanchez, 2000). Ces canaux relient le nœud décisionnel en matière de conception de l'architecture produit et les autres unités chargées du développement ou de la production.

La simplification des processus de coordination sur ce plan cognitif - couplée à la dynamique d'émulation qui émane d'une mise en concurrence des différents fournisseurs de modules (Langlois, 2003 ; Sturgeon, 2002) - favorise alors la désintégration verticale. L'architecture produit induit la constitution d'une architecture organisationnelle elle aussi modulaire, dans laquelle :

- "l'intégrateur" (Brusoni, Prencipe, 2001) ou "firme architecte" (Frigant, 2004.a), conçoit, commercialise et (éventuellement) assemble les modules formant le produit final vendu sur le marché *et* pilote son réseau de fournisseurs de module ;
- des "modules organisationnels" émergent : il s'agit des fournisseurs situés aux différents stades amont du processus de production qui prennent en charge le développement et la production des modules ;
- des "interfaces organisationnelles" sont constituées. Elles correspondent aux modalités de coordination mises en place en allant des infrastructures physiques comme les TIC jusqu'à l'instauration d'espace de coordination comme les équipes plateaux.

Finalement, la modularité relève donc de deux dimensions intimement liées. Si elle se présente comme un procédé d'ingénierie visant à réduire la complexité des systèmes, elle implique une restructuration organisationnelle afin de tirer partie des opportunités d'approfondissement de la spécialisation des agents. Si l'industrie informatique semble en premier avoir exploitée cette double opportunité (Baldwin, Clark, 2000), de nombreuses autres cherchent à s'inscrire dans ce mouvement.

1.3. La production modulaire dans les secteurs aéronautique et automobile

Les arguments soulignant l'efficacité de l'architecture modulaire comparativement à l'architecture intégrale suscitent l'intérêt de nombreuses firmes. C'est ainsi que les deux industries aéronautique et automobile sont depuis quelques années clairement engagées dans cette démarche de mise en modularité de leur chaîne d'approvisionnement. Les trajectoires d'adoption des principes modulaires diffèrent néanmoins (Frigant, Talbot, 2003).

L'aéronautique, civile et militaire, est de longue date familière avec les questions de modularité d'un point de vue technologique. La durée de vie des avions conjuguée à la problématique de l'entretien et de la modernisation des aéronefs a suscité depuis longtemps la mise au point d'une architecture produit qui permette de simplifier le maintien en conditions opérationnelles du produit. En effet, les systèmes clés de l'avion doivent pouvoir être démontés, vérifiés, réparés ou remplacés à moindre coût (parmi lesquels figurent en premier lieu les délais d'indisponibilité en vol). De plus, l'évolution des technologies disponibles et les modifications des réglementations (environnementales ou sécuritaires) imposent de pouvoir remplacer certains équipements au cours de la vie du produit. A ces raisons s'ajoutent plus récemment les efforts de réduire des coûts de développement qui croissent de manière exponentielle dans un contexte d'immixtion de nouvelles technologies, à l'instar de l'électronique (Kechidi, 1995). Dans cette perspective, les avionneurs tels Boeing, Airbus ou encore Dassault, déclinent les avions sur le concept de "famille" au sein de laquelle l'architecture du produit et les différentes interfaces sont partagées par l'ensemble des déclinaisons, ces déclinaisons étant elles-mêmes assurées par le changement de quelques modules (Erens, Verhulst, 1997 ; Frenken, 2000). Ce principe présente l'avantage de permettre l'évolution de chacun des sous-systèmes, sans que la définition globale du produit ne soit remise en cause. Chaque programme, qui peut s'étendre sur une quarantaine d'année, connaît des transformations techniques parfois importantes durant cette période sans que l'architecture initiale du produit ne soit modifiée (à l'instar du B747).

Si la décomposition modulaire du produit semble assez nettement maîtrisée dans l'aéronautique, elle n'est qu'en voie d'émergence dans l'automobile car, contrairement à un avion, il est difficile d'assurer l'identité "1 composant = 1 fonction" et car les interfaces sont instables d'un modèle à l'autre. Ainsi, la tenue de route d'un véhicule dépend d'une multitude de paramètres (empâtement, aérodynamisme, propulsion) qui oblige à concevoir des solutions adéquates et spécifiques pour chaque modèle de voiture concernant les sous-systèmes qui ont pour objet d'assurer la tenue de route (type de pneu, amortisseur, train avant et arrière, etc.). Il en résulte qu'une automobile est un produit système composé lui-même de sous-systèmes qui ont la particularité d'être physiquement disjoints. Un des points délicat du passage à la production modulaire provient de cette disjonction. En effet, les sous-systèmes fonctionnels sont la plupart du temps répartis en plusieurs endroits du véhicule. Dans cette perspective, le passage à la modularité repose sur un double challenge. D'une part, parvenir à décomposer et recomposer le véhicule autour de modules qui, bien qu'ils ne pourront jamais correspondre à une architecture modulaire pure, soient physiquement intégrés dans des sous-systèmes physiques pluri-fonctionnels. Ainsi, les ingénieurs s'orientent vers une redéfinition du véhicule autour d'ensembles physiques compacts : châssis, ensemble roue-pneu, systèmes d'échappements, cockpit, système de direction... D'autre part, assurer une compatibilité entre ces différents modules afin de respecter la contrainte d'intégrité du produit (Clark, Fujimoto, 1991) qui est d'autant plus forte dans l'automobile que les conditions d'utilisation sont plus variées que pour un avion, ne serait-ce parce que les types de conduites sont hétérogènes.

Bien que difficile le passage à la modularité dans l'automobile s'avère un objectif porté par les acteurs de l'industrie. En effet, depuis la moitié des années 1980, la chaîne d'approvisionnement automobile a connu de profondes restructurations confortant les équipementiers en tant qu'acteurs clés de la filière (Chanaron, 1995 ; Simon, 2003). Les constructeurs automobiles se recentrent sur leur cœur de métier : concevoir et vendre. Or, ces deux types d'acteurs cherchent à pousser la modularité sous son versant technologique car elle permettrait aux équipementiers d'accroître leur part de responsabilité dans la chaîne de valeur, et aux constructeurs d'approfondir l'externalisation des tâches (Sako, 2003). Dans

l'aéronautique, l'externalisation est au contraire demeurée un objectif secondaire chez les avionneurs. Ils sont longtemps restés les pivots de la chaîne d'approvisionnement préférant recourir à la sous-traitance et ce n'est que relativement récemment, à l'occasion du développement des nouveaux programmes tels l'A380, le Falcon 7X ou encore le 7^{E7} Dreamliner de respectivement Airbus, Dassault et Boeing, que le modèle organisationnel de l'automobile semble un objectif clairement visé.

Dans les deux industries, et en considérant certaines mutations non encore achevées dans l'aéronautique du fait des anciennes productions qui demeurent (les avions conçus selon d'autres bases), la modularité dans son versant organisationnel semble en cours d'adoption. Désormais, la chaîne d'approvisionnement est beaucoup mieux décrite de nos jours sous la forme d'une pyramide où :

- au sommet se situe l'avionneur ou le constructeur automobile qui spécifie les caractéristiques globales de l'avion ou l'automobile et celles des modules, assure l'intégration de ces derniers et assume la commercialisation du produit ;
- en rang 1 interviennent des fournisseurs de modules (qualifiés d'équipementiers) qui ont la responsabilité complète des modules qui leurs sont confiés, y compris leur développement détaillé ;
- en rang 2 et 3, des sous-traitants qui se voient confier des tâches spécifiées par l'avionneur, le constructeur automobile ou les équipementiers de rang 1.

Cette cascade de responsabilité est symptomatique d'une organisation modulaire en émergence puisqu'elle traduit bien l'apparition de ce que nous appelions une "architecture organisationnelle modulaire". Elle en trouve un autre élément de preuve dans le développement des "interfaces organisationnelles".

En effet, les différents niveaux doivent s'imbriquer d'un point de vue organisationnel. La cohérence de la production finale implique une étroite coordination opérationnelle dans les phases de conception et de production. Des procédures industrielles de coordination assurent la compatibilité des choix techniques adoptés par les fournisseurs de modules et le client. Bien qu'ils soient juridiquement autonomes, l'imbrication procède d'une volonté de reconstituer une "intégration virtuelle" (Coriat, 1997) dans le but, notamment, de faciliter les échanges de connaissances. Ainsi dans l'automobile, la constitution d'équipe-projet mêlant les différents fournisseurs et le client participe à la reconstruction d'une cohérence de la firme désintégrée (Laigle, 1996). Ce mouvement est plus récent dans l'aéronautique, puisque Airbus développe depuis peu de tels dispositifs collectifs de coordination afin de maintenir la cohérence de la chaîne de conception et de production. En amont, le système puise sa cohérence dans une harmonisation des outils de conception (matériels et logiciels de CFAO), l'introduction d'une ingénierie concourante et une homogénéisation des méthodes de formation, de support et de documentation ; l'ensemble se prolongeant par la mise en place d'équipes de projets mixtes entre avionneurs et équipementiers¹. Illustrant cette transformation, c'est à l'occasion du développement de l'A340-500/600 en 1997 qu'Airbus a développé sa première équipe plateau. L'A380 approfondit cette organisation avec la construction d'un plateau d'un millier d'ingénieurs et de techniciens à Toulouse où seront réunis les personnels de l'avionneur et des équipementiers. Il s'agit également d'assurer la

¹ Dassault pour sa part mise fortement sur le développement des logiciels de *Product Data Management* qu'il tente d'imposer à l'ensemble de ses sous-traitants. Il faut dire que Dassault Système (filiale du groupe) est un des leaders mondiaux sur ce domaine *via* les différentes générations de son logiciel CATIA.

cohérence des flux par la mise en liaison informatique des différents sites des avionneurs et de leurs principaux fournisseurs *via* le recours à l'EDI.

Finalement, le mouvement d'externalisation insufflé depuis de nombreuses années a eu pour conséquence de structurer le système le rendant proche d'une architecture organisationnelle modulaire au sens où nous l'entendons dans ce chapitre : des constructeurs automobiles et des avionneurs qui se recentrent sur leur cœur de métier (concevoir, assembler les modules fournis par les fournisseurs et vendre de la mobilité terrestre ou aérienne) ; des équipementiers qui prennent en charge une part croissante de la responsabilité de la chaîne de valeur ; l'élaboration de dispositifs cognitifs de coordination. Si les deux industries n'en sont pas au même stade (ni même d'ailleurs l'ensemble des firmes dans chacune des industries), une convergence semble se réaliser.

II. La dualisation des échelles d'approvisionnement

Les industries aéronautique et automobile s'inscrivent donc toutes deux dans une problématique similaire de déclinaison du concept de modularité dans leur monde productif. Toutefois, cette déclinaison emprunte des chemins différenciés qui résultent d'une part des configurations actuelles et passées des deux industries, d'autre part de la nature même des produits qui sont hétérogènes (que l'on pense au volume produit ou encore aux utilisateurs). Cette convergence inversée dans son rythme de progression, technologique *versus* organisationnel, trouve cependant un point de rencontre dans la dynamique spatiale qui se fait jour.

Afin de mettre en évidence ces transformations, nous suivrons la démarche de l'économie de proximités (Pecqueur, Zimmermann, 2004) qui conduit à se focaliser sur les mécanismes de la coordination inter-entreprises. Il s'agit d'analyser les types d'interactions induits par la modularité et d'en inférer leur dimension spatiale. L'essentiel de notre argumentation découle de la mise en évidence que la modularité conduit à distinguer la conception et la production des modules de la conception et la production du contenu de ces mêmes modules (les composants "invisibles" constitutifs des modules). En effet, l'analyse précédente souligne que les nouvelles formes de division du travail inter-entreprises se soldent par :

- une amplification des interactions cognitives et productives entre la firme architecte et ses fournisseurs de rang 1 lorsqu'il s'agit de concevoir et d'intégrer les modules au produit final;
- un relâchement de ces interactions lorsqu'on remonte vers l'amont et qu'on considère comment sont conçus et réalisés les éléments constitutifs des modules (*cf.* Frigant, 2004.b) .

Ce double processus comme nous allons le montrer à partir des deux exemples des industries aéronautique et automobile, pousse à une dualisation des espaces de proximité inter-entreprises. Dualisation dans le sens où, d'un côté le passage à la modularité impose une concentration géographique entre firme architecte *et* fournisseurs de rang 1 lorsqu'on étudie les activités portant sur les modules, de l'autre elle permet de relâcher la contrainte de proximité géographique entre firme architecte *et* fournisseurs de rang 1 ou inférieur lorsqu'on considère les activités concernant le contenu des modules.

2.1. Produire et concevoir les modules : une proximité géographique renforcée

Lorsqu'on considère les activités liées à la production et à la conception des modules qui sont directement intégrés par la firme architecte, le renforcement des interactions nécessaires par la modularité joue en faveur d'un renforcement des besoins de proximité géographique. Trois séries d'arguments sont avancées pour justifier un tel processus de co-localisation : 1) les caractéristiques physiques des modules renforcent les contraintes de transport, 2) la complexité de la coordination cognitive des firmes s'élève, 3) le degré de dépendance inter-entreprises s'exacerbe encourageant la réalisation d'investissements spécifiques localisés (Frigant, Lung, 2002). Cette série d'arguments se retrouve dans nos deux industries et se matérialise concrètement par une évolution des localisations des fournisseurs de rang 1.

2.1.1. L'industrie aéronautique : une proximité géographique pérennisée

La géographie de l'industrie aéronautique se caractérise par une grande inertie depuis la création des premiers établissements. Cette stabilité avait suscité la création de bassins spécialisés où autour des sites d'assemblage des avionneurs gravitait un vaste tissu de sous-traitants spécialisés (Beckouche, 1996). C'est cette figure qu'il convient d'interroger ici. L'internationalisation croissante des entreprises aéronautiques, constructeurs et équipementiers, ne vient-elle pas remettre en cause ces bassins ? Ainsi sous la double influence des modifications des liens organiques entre Etat et industriels et de la montée de la modularité, on peut statistiquement repérer que l'internationalisation productive s'accroît, du moins vue depuis la France (Carrincazeaux, Frigant, 2004). Si les implantations à l'étranger s'accroissent, principalement chez les équipementiers, il reste qu'elles ne signifient pas forcément un relâchement des contraintes de proximité lorsqu'on place l'analyse à un niveau infra-national. Le cas d'EADS-Airbus témoigne de ce phénomène.

L'existence durable d'une proximité entre preneurs et donneurs d'ordres du secteur aéronautique est parfaitement illustrée par le cas toulousain. En effet, selon l'INSEE (2001, 2002), l'agglomération toulousaine concentre en 1990 à elle seule 59% des effectifs de l'industrie aéronautique et spatiale de l'ensemble de la région Midi-Pyrénées (les trois-quarts dans le seul département de la Haute-Garonne), 73% en 2001. Cette concentration croissante se fonde, au-delà d'une proximité physique, sur l'existence entre EADS-Airbus et les sous-traitants toulousains d'une proximité qualifiée de géographique. En effet, si l'on considère que cette dernière renvoie à une conception de l'espace physique structuré par des ressources matérielles et cognitives, cette notion dépasse alors la simple proximité physique et devient un construit qui facilite les interactions sociales. Ainsi, une telle proximité s'est construite progressivement entre Airbus et ses preneurs d'ordres dans l'agglomération toulousaine durant les années soixante-dix et quatre-vingt. Il existe en effet une histoire commune forte construite au fil des divers programmes de l'aéronautique civile française et des incitations étatiques à soutenir le tissu industriel local : l'espace devient le lieu d'une mémoire collective constitutive d'une ressource cognitive, ici la confiance, mobilisée par les acteurs locaux dans leurs interactions productives. En particulier, les contrats sont souvent passés oralement dans un premier temps, sans spécifications précises autres que celles d'ordre technique. Et parfois, le sous-traitant débute la production qui lui est confiée avant même la signature d'un contrat écrit. De fait, donneurs et preneurs d'ordres toulousains constituent à cette époque un "cercle fermé" dans lequel les mécanismes de concurrence jouent plus faiblement qu'ailleurs.

On assiste dans la décennie suivante au désengagement progressif de l'Etat du secteur aéronautique civil autorisant une émancipation des industriels. Ce retrait étatique permet à EADS-Airbus d'élargir la recherche des sous-traitants aux niveaux national et international, abandonnant son rôle de soutien public au tissu industriel local. En conséquence, l'avionneur ne sélectionne plus ses preneurs d'ordres en fonction de leur localisation. Le processus de concentration des sous-traitants autour des sites de ce dernier est alors stoppé pour une brève période au début des années quatre-vingt-dix².

Actuellement, le développement de l'A380 est cependant révélateur d'une inflexion dans le processus de localisation des équipementiers. Poussant la logique de modularité dans sa version organisationnelle, EADS-Airbus a décidé d'accroître les délégations des responsabilités pour des modules complets, auprès d'un tout petit nombre de fournisseurs directs (estimé autour d'une cinquantaine). L'enjeu du programme justifie alors un rapprochement des équipementiers pour trois raisons.

En premier lieu, même si l'intensité des flux de transport n'est pas comparable avec celle du secteur automobile, les livraisons se heurtent à la taille importante des modules. Les difficultés à approvisionner les divers éléments réalisés notamment en Espagne (empennage horizontal), en Grande-Bretagne (voilure), à Hambourg (fuselage) ou encore à Saint-Nazaire (fuselage) oblige à construire une voie à grand gabarit entre Bordeaux et Toulouse, illustrant par là-même les surcoûts qui proviennent d'un approvisionnement géographiquement éloigné. Si au sein des différentes composantes du groupe Airbus ce surcoût est accepté, il est moins évident que l'avionneur le tolère chez ses équipementiers au moment même où il accroît sa pression pour réduire ses coûts d'approvisionnement.

Un deuxième motif justifie la réalisation d'unité de production à proximité. La complexité du développement, d'autant plus critique que la nature novatrice de l'avion constitue une véritable rupture par rapport aux modèles précédents, incite de nombreux équipementiers sélectionnés à implanter dans la zone toulousaine des équipes de recherche chargées de travailler en étroite collaboration avec les ingénieurs de l'avionneur. Dans le cadre de sa démarche d'ingénierie concourante inaugurée à l'occasion du développement de l'A340 500/600, EADS a construit un centre de développement regroupant un millier de personnes représentant d'amont en aval, les bureaux d'études, la fabrication, la maintenance et les compagnies aériennes. Le site toulousain organise le travail en plateau des différentes équipes intégrées, et comme architecte industriel coordonne les compétences de conception. Airbus réunit à Toulouse ses fournisseurs pour combiner et harmoniser le développement de l'A380. Puis, les équipementiers développent chacun de leur côté leur module, mais continuent d'échanger des données avec Airbus ou d'autres équipementiers. En outre, des plateaux secondaires sont mis en place au sein de chaque site afin de piloter la réalisation des parties de l'avion. Cette ingénierie simultanée permet aux sites européens d'échanger progressivement des données. L'essentiel de la nouveauté ici repose sur la forte présence des équipementiers afin d'assurer la coordination inter-firmes des outils et procédures utilisés, qu'ils soient de nature technique (TIC en particulier) ou organisationnelle.

Enfin, l'enjeu économique du programme A380 et l'affirmation de Toulouse comme capitale industrielle de l'avionneur justifie d'un choix stratégique des équipementiers. La réalisation d'investissements à proximité constitue une preuve d'engagement dans la relation.

² On retrouve dans l'agglomération toulousaine en 1996 la même concentration qu'en 1990, avec 83% des effectifs de la sous-traitance (Fogiel *et alii.*, 1994) contre 85% (Beckouche, 1996).

Et cela que l'on se place du point de vue des équipementiers ou de l'avionneur. Côté équipementier, réaliser des investissements à proximité constitue un signal prouvant la volonté de s'impliquer à long terme auprès du constructeur toulousain, en particulier pour les industriels qui s'engagent pour la première fois de façon majeure auprès d'Airbus. C'est notamment le cas pour les équipementiers américains traditionnellement plus attachés au concurrent Boeing. Côté avionneur, l'efficacité induite par l'existence de ces investissements spécifiques localisés (Williamson, 1985) incite les donneurs d'ordres à octroyer aux preneurs d'ordres locaux le développement puis la réalisation industrielle des modules. Ces investissements constituent en quelque sorte un moyen de verrouiller la relation bilatérale.

C'est en ce sens que la multiplication des projets et des réalisations de zones industrielles dédiées à l'aéronautique, peut trouver sa rationalité dans son rapport à la modularité. Selon Zuliani *et al.* (2002), il existe ainsi une concentration d'équipementiers aéronautiques autour de Madrid en raison de la présence d'EADS-CASA. Au Pays Basque espagnol, autour de l'équipementier Gamesa, s'est constitué un ensemble d'activités dédié à l'usinage de composants aéronautiques. Nombre de sous-traitants, principalement de second rang même s'il existe quelques équipementiers majeurs comme Goodrich, Liebherr Aerospace ou encore Thalès, sont localisés dans la banlieue d'Hambourg autour des sites d'assemblage des Airbus. Bristol-Filton rassemble autour d'Airbus UK les établissements de Smiths Industries, de Messier Dowty et de GKN Westland Aerospace. Mais c'est le cas toulousain qui constitue là encore l'exemple le plus abouti. Aeroconstellation abrite le site d'assemblage de l'A380, tandis qu'Airbus accueille sur son propre espace foncier des tiers investisseurs, et voit l'arrivée sur le site d'Air France Industrie pour ses activités de grand entretien, tandis que Snecma aurait fait connaître son intention de s'y installer. Nombre d'équipementiers se sont en outre implantés autour de cette même zone, que ce soit pour des raisons d'approvisionnement (Barry Control Aerospace), de relation-lobbying auprès d'Airbus (MPC Products), de conception communes (Rockwell Collins, Honeywell ou Thalès pour les modules d'avionique par exemple) et/ou d'assemblage final de modules (Goodrich pour l'assemblage nacelle moteur). L'ensemble peut alors se définir comme un parc fournisseur, même si le site toulousain n'en constitue pas un exemple pur.

Ces illustrations d'implantations américaines en Europe sont à mettre en perspective avec un mouvement croisé d'implantations d'équipementiers européens en Amérique du Nord. Ainsi BAE Systems voit un quart de ses effectifs situés en Amérique du Nord grâce à une trentaine de participations, Zodiac 28%. Snecma cherche à s'ouvrir le marché nord américain en localisant treize de ses filiales³ aux Etats-Unis et au Canada. Thalès, déjà très implanté en Grande-Bretagne, ambitionne une stratégie similaire aux Etats-Unis par des acquisitions (Racal) ou des partenariats (*joint-venture* avec Raytheon). Les équipementiers européens quittent dorénavant leur base nationale par des prises de participation et de création de co-entreprises, les coopérations plus traditionnelles par programmes laissant la place à une forme d'internationalisation plus directe. Cette dernière présente l'avantage, premièrement de transformer une partie des coûts en une monnaie américaine qui semble se déprécier durablement par rapport à l'euro, deuxièmement de favoriser l'accès à des marchés relativement fermés, troisièmement de pouvoir bénéficier des effets positifs de la proximité géographique (réduction des coûts de transport, face à face lors des phases de conception, lobbying auprès des donneurs d'ordres).

³ Citons les équipementiers Labinal, Messier-Dowty, Hispano-Suiza.

2.1.2. Automobile : l'affirmation de la proximité géographique dans le cas d'une production modulaire

Un peu à l'image de l'aéronautique, la géographie des relations verticales inter-entreprises dans l'automobile fut celle de bassins industriels spécialisés autour des usines des constructeurs automobiles. Mais, plus que dans l'aéronautique, les entreprises, les constructeurs et leurs fournisseurs, semblaient au fil des apprentissages organisationnels avoir réussi à lever une partie des contraintes de proximité constitutives de ces bassins conduisant à une certaine diffusion spatiale des entreprises (Lung, 1995).

Sur cette tendance de fond, la modularité fait rupture. Les premières expériences avancées de modularité, couplant les dimensions technologique et organisationnelle, se traduisent par de véritables innovations spatiales. Ainsi, l'usine de camion et de bus de Volkswagen au Brésil et celle fabriquant la Smart (MCC) en France aboutissent à la constitution d'une proximité géographique inter-entreprises extrêmement étroite (Frigant, Lung, 2002). Dans ces deux cas, les véhicules ont été décomposés en quelques modules (7 pour VW) confiés chacun à un équipementier. La particularité de ces deux usines provient de l'implantation des fournisseurs dans l'établissement même du constructeur, établissement qui a été physiquement décomposé en parcelles dans lesquelles chaque équipementier réalise l'assemblage final de son module et l'intègre directement au véhicule. Ces deux cas illustrent de manière paroxystique l'existence d'une rupture liée à la modularité. Mais de façon générale, l'essentiel du mouvement de recomposition spatiale prend la forme de la construction de parcs fournisseurs où sont implantés à proximité même du constructeur une partie de ses fournisseurs de rang 1. Ces dernières années ces parcs fournisseurs connaissent une croissance rapide aussi bien en Europe⁴ qu'en Amérique du Sud et du Nord illustrant bien que la recherche de proximité, loin d'être relâchée grâce au progrès des TIC et de la logistique, demeure un élément fondamental des relations inter-entreprises (Kamp, 2003). L'analyse des activités réalisées dans ces parcs fournisseurs révèle qu'ils sont étroitement liés au passage à la modularité (Larsson, 2002) qui accentue les contraintes de proximité, au moins à trois niveaux.

Tout d'abord, la gestion des flux physiques des inputs. L'essentiel des entreprises présentes dans les parcs fournisseurs effectue du pré-assemblage de modules. Les contraintes de flux qui associent dans l'automobile variété et cycle court d'approvisionnement, compte tenu du nombre important des variantes offertes pour un même modèle produit pourtant en masse, élèvent les contraintes de transport et ce faisant contribuent à justifier d'un rapprochement physique des firmes.

A un second niveau, un argument essentiel réside dans les besoins d'interactions productives liés à la nouveauté des principes organisationnels à mettre en œuvre. Le constructeur et l'ensemble de ses équipementiers doivent modifier leurs pratiques organisationnelles et tendre à les faire converger. La nature profondément tacite des savoirs à mobiliser et à créer légitime une mise en proximité des agents dans la mesure où elle facilite la réalisation d'un apprentissage par interactions. En amont, les besoins d'interactions induits par la mise au point du produit automobile et de son procès de production limitent les possibilités de séparation géographique des activités. La production mobilise un tel spectre de domaines de connaissances à l'articulation complexe, qu'une proximité physique, au moins

⁴ 23 parcs fournisseurs sont recensés en Europe en 2003 (17 en 2001) (Automotives News Europe, 2003 *Guide to Purchasing*, February 2003).

transitoire, s'avère nécessaire entre les agents à certains moments clés (Carrincazeaux, Lung, 1998). Dans les faits, cela s'illustre par la création du Technocentre de Renault qui concentre l'essentiel des activités de recherche du groupe et où les équipementiers sélectionnés sur un modèle détachent des équipes impliquées dans les phases de développement. En aval, les expériences avancées de modularité (Smart, VW Resende) soulignent les difficultés qu'il existe à coordonner des processus de production aussi intimement liés (Lung *et al.*, 1999).

Enfin, tout comme dans l'aéronautique, la proximité constitue également un élément venant renforcer la dimension contractuelle de l'échange. Il faut voir là moins une volonté des fournisseurs d'envoyer un signal sur leur degré d'engagement envers leurs clients, qu'une exigence des constructeurs qui incluent dans leur critère de sélection des premiers la faculté à s'implanter à proximité, notamment lors de leur développement à l'international (*follow sourcing*, cf. Gerpisa, 1999).

Toutefois, la proximité ne peut être considérée comme une solution unique. Porteuse d'opportunités, elle est également porteuse de difficultés, à l'instar de la réduction des économies d'échelles résultant de la multiplication des sites, de l'impossibilité pour les équipementiers d'amortir les investissements liés à l'implantation sur un seul programme sans assurance d'être sélectionné pour le suivant ou encore du côtoiement de salariés aux statuts différents. Dès lors, certaines relations tendront à se faire sur une base éloignée. La modularité offre en effet la possibilité de relâcher la contrainte de proximité sur *certaines* activités.

2.2. Les composants des modules : un éclatement spatial facilité

Ainsi que nous soulignons *supra*, la modularité dans ses principes constitutifs impose de distinguer ce qui relève des modules qu'il va s'agir d'intégrer et ce qui relève des composants des modules. Cette distinction est nécessaire car elle permet de comprendre que, plus qu'auparavant, les stades de production, amont-aval, tendent à se dissocier. L'objectif des fournisseurs de modules consiste à concevoir des modules vendus à plusieurs donneurs d'ordres utilisant un nombre élevé de composants partagés. Dit autrement, ils sont à la recherche d'économies de substitution (Garud, Kamaraswamy, 1995) ce qui passe par le développement de composants génériques qu'ils pourront intégrer à différents modules et sur lesquels ils pourront réaliser des économies d'échelle et de variété. Autant un module est spécifique à un client, autant ses éléments constitutifs se doivent d'être le plus générique possible. Cette stratégie fondamentale permet de comprendre que les logiques spatiales seront différentes pour ce qui concerne les composants des modules.

2.2.1. L'amorce de la délocalisation du volume de production dans l'aéronautique

Le passage de la logique d'arsenal à la logique de marché chez Airbus (Talbot, 2000) s'est accompagné d'une pression croissante à l'égard des fournisseurs, s'inscrivant dans le cadre de la primauté des critères de coût et de délais au regard du critère technologique. En particulier, l'impératif de coût imposé depuis près de vingt ans a contribué à accroître la part des approvisionnements réalisée à l'international. Alors que dans les années soixante la sous-traitance internationale était quasi inexistante, elle représentait déjà au début des années quatre-vingt-dix près du tiers de la charge de sous-traitance gérée par Airbus (Kechidi, Panadero, 1994). Actuellement, les équipementiers américains captent 40% des sous-ensembles sur les A320 et A330/340, 50% sur l'A380. Cette part importante attribuée aux fournisseurs américains constitue pour EADS-Airbus une meilleure garantie de ne pas voir un jour de nouvelles barrières douanières s'élever contre ses avions. Elle illustre le fait que le choix de partenaires par les avionneurs est aujourd'hui fonction des coûts en référence à la

logique de marché, de la technologie comme toujours dans cette industrie, mais aussi de façon plus récente de la nationalité lorsque les compagnies aériennes nationales doivent choisir entre Airbus et Boeing. Ce critère de nationalité peut même dans certains cas conduire les avionneurs à faire appel directement à des équipementiers situés dans des zones périphériques, permettant au passage une réduction des coûts d'approvisionnement⁵. Mais c'est actuellement les équipementiers de taille conséquente qui contribuent le plus au processus de délocalisation d'une partie des volumes de production des composants.

Nous avons souligné en effet plus haut l'existence d'un mouvement d'internationalisation d'équipementiers qui implantent des sites de productions de modules et de services dans les pays porteurs de marchés importants, tandis que leurs activités de recherche et de production finale restent localisées le plus souvent dans leur pays d'origine. Cette internationalisation prend un autre aspect, si on s'intéresse cette fois-ci aux composants. En effet, les équipementiers n'hésitent plus à délocaliser dans des pays situés à la périphérie qui proposent un couple favorable coût/qualité de la main d'œuvre des activités de production de composants de ces mêmes modules. Et les nouveaux programmes fondés sur une plus grande modularité source d'externalisation accélère ce processus d'internationalisation des sites de production des équipementiers. Autant la réalisation même des modules tend à renforcer les liens de proximité géographique avec le donneur d'ordres, autant elle autorise une certaine dispersion pour les composants de ces mêmes modules.

La stratégie de Latécoère est à cet égard éclairante de cette dualisation des espaces mobilisés. En effet, alors que l'équipementier a construit un site d'assemblage de module à proximité de Toulouse afin d'être localisé à proximité de son client Airbus, il redéploie parallèlement une partie de sa production dans des pays à faibles coûts de production. Latécoère a ainsi racheté l'entreprise tchèque Letov en 2000 (mécanismes et sous-ensembles de porte), possède une filiale en Tunisie (câblage) et délègue des charges de travail en Pologne : au total, il sous-traite 30% de sa production à l'étranger et emploie un tiers de ses salariés hors de France. Pour être emblématique, cet exemple illustre le mouvement de recomposition des activités des équipementiers aéronautiques qui cherchent à délocaliser une partie de leurs activités dans des zones à faibles coûts de production (*Usine Nouvelle*, n°2394, Octobre 2004). Cette internationalisation ouvre la voie à une spécialisation des sites qui veut que les établissements centraux d'un équipementier se voient confier la réalisation des modules, tandis que les établissements éloignés produisent les composants entrant dans la fabrication desdits modules. L'objectif est ici de bénéficier de coûts salariaux plus faibles pour réduire d'autant les coûts de production. Finalement, on assiste pour la première fois dans l'industrie aéronautique à un mouvement de délocalisation du volume de production à faible valeur ajoutée.

Ces mouvements ne doivent cependant pas laisser à penser que l'ensemble des activités de troisième rang et plus subit une telle délocalisation. En effet, les délocalisations ne semblent guère possibles que pour les activités les plus standardisées offrant des volumes de production relativement élevés. C'est pourquoi les activités de câblage sont les plus souvent concernées. En outre, les prestations de services et la sous-traitance de pure capacité

⁵ 18 équipementiers nippons ont été sélectionnés pour fournir des éléments pour l'A380, tandis que le projet du 7E7 Dreamliner de Boeing se fonde sur un rapprochement avec l'industrie aéronautique japonaise. A un moindre niveau, l'industrie chinoise est aussi associée à ces deux programmes, suite à des commandes de compagnies aériennes locales.

supposent une proximité géographique avec les donneurs d'ordres rendant illusoire ici de jouer la carte des délocalisations (Ravix *et al.*, 2000).

De fait, l'internationalisation des réseaux d'approvisionnement passe le plus souvent par un croisement des flux d'intrants entre les grands pays producteurs où viennent finalement se combiner des implantations productives localisées à proximité des clients à approvisionner et des flux d'importations en intra-groupe concernant les composants provenant des pays d'origine (Carrincazeaux, Frigant, 2004) ou éventuellement de pays à bas coûts pour certains composants. Ce type de schéma se retrouve dans l'automobile.

3.2.2. La recherche des périphéries chez les équipementiers automobiles

A l'instar de l'aéronautique, les équipementiers automobiles redéployent en partie leur dispositif de production. La multiplication des sites d'assemblage des modules à proximité immédiate des constructeurs conduit à fragmenter les capacités de production des équipementiers et à fragiliser leur rentabilité financière dans un contexte de pression permanente des constructeurs sur les coûts d'approvisionnement. Afin de lever cette contradiction, les équipementiers sont largement engagés dans un processus d'internationalisation de leur réseau productif. Les plus importants équipementiers mondiaux ont fini par mailler l'espace mondial de leurs sites de production. Néanmoins plusieurs logiques se recouvrent dans cette internationalisation (*cf.* Frigant, 2004.b).

Si on y retrouve bien une logique de recherche de proximité avec les constructeurs sous la forme du *follow sourcing* ou de recherche de nouveaux clients, les équipementiers se sont également fortement implantés dans les pays à faibles coûts de production pour y réaliser des activités d'assemblage intermédiaires ou de fabrication de composants génériques. Chaque zone de la Triade semble devoir se doter d'une périphérie où les équipementiers s'implantent et à partir desquels ils ré-importent (*cf.* également Pottier, 2003).

- Le Mexique constitue le pays clé pour les équipementiers implantés en Amérique du Nord qu'ils soient américains ou européens⁶ ;
- L'Europe de l'Est et les pays du Maghreb constituent l'équivalent pour la zone européenne ;
- Les pays du sud-est asiatique (Malaisie, Thaïlande en particulier) pour la zone asie-pacifique (Guilheux, Lecler, 2000). Il est à noter que, dans ces pays, les équipementiers s'implantent pour des motifs de coûts sont essentiellement japonais, les implantations européennes et américaines semblant (encore pour l'instant) principalement guidées par des logiques de *follow sourcing*.

Avec le recul, la contrainte de proximité portée par la modularité qui se manifeste à travers les parcs fournisseurs ne constitue qu'un volet de l'enjeu spatial de la modularité. La plupart du temps, ces établissements sont de simples ateliers de montage terminal relativement peu porteurs d'emplois (Larsson, 2002). De façon plus générale, les équipementiers opèrent une reconfiguration spatiale globale de leurs réseaux productifs qui remet au goût du jour la notion de division internationale des processus productifs. A côté des ateliers d'assemblage final directement implantés à proximité des constructeurs automobiles :

- ils renforcent leurs anciennes localisations dans les pays centraux afin d'accélérer l'obtention d'économies d'échelle ;

⁶ Lara et Carillo (2003) rapportent que 875 entreprises de composants automobiles sont implantées au Mexique en 2001 dont 150 équipementiers de rang 1 et 250 de rang 2.

- ils créent de nouveaux sites de production, en général pour des activités génériques à forte intensité travaillistique, dans les pays situés à la périphérie de leurs principaux clients. On peut noter que si ces implantations sont parfois le fruit de délocalisations, elles correspondent souvent à la constitution de nouvelles capacités de production induites par l'extension de leurs responsabilités dans la chaîne d'approvisionnement. Il ne s'agit donc pas de délocalisation au sens propre du terme.

Une telle organisation spatiale impose néanmoins de substituer une forme de proximité à une autre. En effet, dans un contexte de flux tendus, ceci suppose que les équipementiers puissent gérer l'éloignement géographique par des formes de proximité organisationnelle. A ce titre, il nous semble que ces schémas spatiaux ont pour condition permissive les progrès de la logistique et des TIC qui assurent la cohérence des flux informationnels et physiques de produits à travers des espaces d'approvisionnement de plus en plus éclatés.

Conclusion

Saisie au niveau sectoriel, la modularité constitue un procédé assez novateur pour organiser le couple technico-organisationnel dans les relations verticales inter-entreprises. Dans ce chapitre nous nous sommes focalisés sur ses implications spatiales en cherchant à comprendre les dynamiques dont elle est intrinsèquement porteuse. La distinction clé qu'elle conduit à opérer entre activités liées au module en tant qu'élément prêt à être assemblé et celles liées à la fabrication (et conception dans une moindre mesure) des composants constitutifs desdits modules, nous semblent justifier la thèse d'une dualisation des échelles d'approvisionnement. D'un côté, elle pousse à une concentration des relations inter-entreprises parfois au sens extrêmement étroit du terme allant jusqu'à la co-localisation des unités d'assemblage. De l'autre, elle comporte des forces favorisant une dispersion spatiale des unités de production des équipementiers qui se voient chargés de la production des modules. C'est en ce sens que nous considérons que la modularité est porteuse d'une logique de dualisation car elle permet de rendre compatible, sans rompre les contraintes cognitives et productives, recherche de proximité et éloignement.

La modularité apparaît ainsi ouvrir certains degrés de liberté chez les équipementiers en termes de localisation, en rendant possible par exemple la localisation d'activités dans des pays à bas coûts. Il reste néanmoins que la nouveauté du processus, et de certaines implantations, doit inciter encore à la prudence et que des analyses complémentaires à la fois sur la notion de modularité et sur l'évolution de la géographie des relations inter-entreprises sont à conduire dans ces industries, comme dans d'autres.

Bibliographie

- Baldwin C., Clark K., 2000, *Design Rules: The Power of Modularity*, MIT Press, Cambridge (Mass.).
- Beckouche P., 1996, *La nouvelle géographie de l'industrie aéronautique européenne*, L'Harmattan, Paris.
- Brocard P., Donada C., 2003, *La chaîne de l'équipement automobile*, SESSI, Minefi, Paris.
- Brusoni S., Prencipe A., 2001, "Unpacking the Black Box of Modularity: Technologies, Products and Organizations", *Industrial and Corporate Change*, Vol.10, n°1, 179-204.

- 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*, Vol. 46, n° 4, 597-621.
- Carrincazeaux C., Lung Y., 1998, "La proximité dans l'organisation de la conception des produits automobiles", in Bellet M., Kirat T., Largeron C., eds., 1998, *Approches multiformes de la proximité*, Hermes, Paris, 241-265.
- Carrincazeaux C., Frigant V., 2004, "L'internationalisation de l'industrie aérospatiale-défense française : vers une banalisation des formes d'internationalisation ?", *Article présenté à la réunion du Groupe de Travail Mondialisation*, SESSI, MINEFI, Paris, 03 mars.
- Chanaron J-J., 1995, "Constructeurs/Fournisseurs : spécificités et dynamique d'évolution des modes relationnels", *Actes du GERPISA*, n° 14, C.C.F.A/Université d'Evry-Val d'Essonne, 9-22.
- Clark K., Fujimoto T., 1991, *Product development performance: strategy, organization and management in the world auto industry*, Harvard Business School Press, Boston.
- Coriat B., 1997, "Globalization, variety, and mass production: the metamorphosis of new competitive age", in Hollingsworth R., Boyer R., eds., *Contemporary Capitalism: The Embeddedness of Institutions*, Cambridge University Press, Cambridge (UK), 240-264.
- Erens F., Verhulst K., 1997, "Architectures for product families", *Computers in Industry*, Vol. 33, 165-178.
- Frenken K., 2000, "A complexity approach to innovation networks. The case of the aircraft industry (1909-1997)", *Research Policy*, Vol. 29, n° 2, 257-272.
- Fixson S., 2003, "The Multiple Faces of Modularity- A Literature Analysis of a Product Concept for Assembled hardware Products", *Technical Report*, 03-05, University of Michigan (MI).
- Fogiel P., Porteu E., Rabine D. et Bourgeois T., 1994, *Etude d'implantation géographique sur les sous-traitants et fournisseur du secteur aéronautique et spatial*, Observatoire de la Sous-Traitance des Industries Aéronautiques et Spatiales, Juillet.
- Frigant V., 2004.a, "La modularité : un fondement pour des firmes architectes ?", *Cahier du GRES*, n° 2004-02, <http://ideas.repec.org/p/grs/wpegrs/>, Janvier.
- Frigant V., 2004.b, "Une géographie économique de la modularisation : une analyse de l'internationalisation des équipementiers automobiles en termes de proximité", *Quatrièmes Journées de la Proximité*, Marseille, 17-18 juin.
- Frigant V., Lung Y., 2002, "Geographical Proximity and Supplying Relationships in Modular Production", *International Journal of Urban and Regional Research*, Vol. 26, n° 4, 742-755.
- Frigant V., Talbot D., 2003, "Convergence et diversité du passage à la production modulaire dans l'aéronautique et l'automobile en Europe", *XI^{ème} Rencontre internationale du GERPISA*, Paris, 11-13 juin.
- Garud R., Kumaraswamy A., 1995, "Technological and organizational designs to achieve economies of substitution", *Strategic Management Journal*, Vol. 16, 93-109.
- GERPISA, 1999, "Division internationale du travail et relations constructeurs-fournisseurs", *Actes du GERPISA*, n° 25, Université d'Evry-Val d'Essonne, Février.

- Guilheux , Lecler Y., 2000, “Japanese Car Manufacturers and Component Markers in the ASEAN Region”, in J. Humphrey, Y. Lecler and M. Salerno (eds), *Global Strategies and Local Realities : The Auto Industry in Emerging Markets*, St Martin’s Press, London.
- INSEE, 2001, “Sous-traitance aéronautique et spatiale en Midi-Pyrénées : conjoncture favorable mais dépendance accrue“, in Les 6 pages de l’INSEE, n°51, septembre.
- INSEE, 2002, “Aéronautique, espace et sous-traitance“, in Les dossiers de l’INSEE n°114, novembre, INSEE Midi-Pyrénées Publications.
- Kamp B., 2003, *Formation and evolution of international business networks*, Wolf Legal Publishers (WLP), Nijmegen (NL).
- Kechidi M., 1995, *L'organisation comme système d'action et de cognition, éléments théoriques et référence à l'activité aéronautique*, Thèse de doctorat, Université des Sciences Sociales de Toulouse, Janvier.
- Kechidi M., Panadero Y., 1994, “Le secteur de l’aéronautique et les transformations de la sous-traitance régionale”, in Dupuy C., Gilly J-P., eds., *L’industrie en Midi-Pyrénées : entre tradition et modernité*, Presse de l’Université des Sciences Sociales de Toulouse, Toulouse.
- Laigle, L., 1996, *La coopération inter-firmes. Approches théoriques et application au cas des relations constructeurs-fournisseurs dans l’industrie automobile*. Thèse pour le Doctorat en Sciences économiques, Université Paris 13-Villetaneuse, 19 décembre.
- Langlois R.N., 2003, “The Vanishing Hand: the Changing Dynamics of the Industrial Capitalism”, *Industrial and Corporate Change*, Vol. 12, n°2, 651-385.
- Langlois R.N., Robertson P.L, 1992, “Networks and Innovation in a Modular System: Lessons from the Microcomputer and Stereo Component Industries“, *Research Policy*, Vol.21, n°4, 297-313.
- Lara A., Carillo J., 2003, “Technological globalization and intra-company coordination in the automotive sector: the case of Delphi-Mexico”, *International Journal of Automotive Technology and Management*, Vol. 3, n° 1/2, 101-121.
- Larsson A., 2002, “Learning or Logistics? The Development and Regional Significance of Automotive Supplier-Parks in Western Europe”, *International Journal of Urban and Regional Research*, Vol. 26, n° 4, 767-784.
- Lung Y., 1995, “Modèles industriels et géographie de la production”, in Rallet A., Torre A., eds., *Economie industrielle-Economie spatiale*, Economica, Paris, 85-110.
- Lung Y., Salerno M., Zilbovicius M., Carneiro Dias A., 1999, “Flexibility through Modularity: Experimentations with Fractal Production in Brazil and in Europe”, in Y. Lung et alii, eds., *Coping with Variety. Flexible Productive Systems for Product Variety in the Auto Industry*, Ashgate, Aldershot, 224-258.
- Pecqueur B., Zimmermann J-B. (eds.), 2004, *Economie de proximités*, Hermes, Paris.
- Pottier C., 2003, *Les multinationales et la mise en concurrence des salariés*, L’Harmattan, Paris.
- Ravix J.T. et alii, 2000, *Les relations interentreprises dans l’industrie aéronautique et spatiale*, Rapport de l’OED, La Documentation Française, Paris.
- Rogers G., Bottaci L., 1997, “Modular Production Systems: A New Manufacturing Paradigm”, *International Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol. 8, n°2, 147-156.

- Sako M., 2003, "Modularity and Outsourcing: The Nature of Co-evolution of Product Architecture and Organisation Architecture in the Global Automotive Industry", in Prencipe A., Davies A. and Hobday M. (eds.), *The Business of Systems Integration*, Oxford University Press, Oxford, 229-253.
- Sanchez R., 2000, "Modular architectures, knowledge assets and organizational learning: new management processes for product creation", *International Journal Technology Management*, Vol. 19, n°6, 610-629.
- Sanchez R., Mahoney J.T., 1996, "Modularity, flexibility, and knowledge management in product and organization design", *Strategic Management Journal*, Vol. 17, 63-76.
- Schilling M.A., 2000, "Toward a general systems theory and its application to interfirm product modularity", *Academy of Management Review*, Vol. 25, n°2, 312-334.
- Simon H., 1962, "The architecture of Complexity", *Proceedings of the American Philosophical Society*, Vol. 106, n°6, 467-482.
- Simon P., 2003, "Les équipementiers", in Puig A. (ed.), *L'automobile : marchés, acteurs, stratégies*, Elenbi, Paris, 341-393.
- Sturgeon T., 2002, "Modular production networks: a new American model of industrial organization", *Industrial and Corporate Change*, Vol. 11, n°3, 451-496.
- Talbot D., 2000, "Institutional dynamics on localised inter-firm: the case of Aerospatiale and the Toulousian subcontractors", *European Urban & Regional Studies*, July, 223-236.
- Ulrich K., 1995, "The role of product architecture in the manufacturing firm", *Research Policy*, Vol. 24, 419-440.
- Williamson O.E., 1985, *The economic institutions of capitalism*, The Free Press, New York.
- Zuliani J.M., Jalabert G., Leriche F., 2002, *Système productif, réseaux internationaux de villes, dynamiques urbaines : les villes européennes de l'aéronautique*, Ministère de la Recherche et de la Technologie, Action Concertée Ville, 343 p.