



**Groupement de Recherches Economiques
et Sociales**

<http://www.gres-so.org>

**IFReDE
&
LEREPS**

Université Montesquieu-Bordeaux 4

Université des Sciences Sociales Toulouse 1

Cahiers du GRES

**La modularité : un fondement pour des firmes
architectes ?**

Vincent FRIGANT

E3i, IFReDE – GRES

Université Montesquieu Bordeaux IV
Avenue Léon Duguit
33608 PESSAC

frigant@u-bordeaux4.fr

Cahier n° 2004 - 02

janvier 2004

La modularité : un fondement pour des firmes architectes ?

Résumé

Le succès grandissant de la production modulaire dans les industries d'assemblage se situe initialement dans sa capacité à gérer la complexité croissante des produits. Ces enjeux dépassent cependant la seule dimension technologique. Ainsi de nombreux travaux avancent que la production modulaire implique une restructuration des firmes et des industries plus généralement. Elle est alors présentée comme le catalyseur suscitant l'émergence d'un nouveau type de firme : la firme architecte. Si la première partie de cet article s'attache à expliciter les mécanismes qui justifient l'avènement de ces firmes architectes, la seconde se fait plus critique. Il s'agit dans un premier temps de souligner les limites internes à ce mode d'organisation en explicitant les problèmes cognitifs et de pouvoir de marché qui naissent au sein d'une industrie ainsi structurée. Dans un second temps, il s'agit de poser la question de son éventuelle généralisation. L'article montre que le transfert de la firme architecte ne pourra emprunter qu'une voie hybride compte tenu d'une triple hétérogénéité : sectorielle, institutionnelle et inter-firmes.

Mots-clé : *Production modulaire, Dominant Design, Organisation Industrielle, Firme, Vanishing Hand*

Modularity: the foundations of an architect firm?

Abstract

The rise of the modular production in assembly industries is initially located in its capacity to manage the increasing complexity of the products. However these implications exceed this technological dimension. Many works advance that the modular production implies a reorganization of the firms and industries more generally. The modularity appears as a technological condition allowing to generate a fundamental reorganization of the firms leading to a managerial revolution: the architect firm. If the first part of this article attempts to clarify the mechanisms which justify the advent of these architect firms, the second is done more critical. First, we stress the internal limits of this mode of organization by clarifying the cognitive problems and the evolution of market power that emerges in modular industries. Second, we ask the question of its generalization. The article shows that the transfer of the architect firm should follow a hybrid way. Three points are discussed: the recognitions of the heterogeneity between industries, the institutional particularities and the heterogeneity between firms.

Keywords: *Modular Production, Dominant Design, Industrial Organization, Firm, Vanishing Hand*

JEL : D21, L22, L23, O33

Les analyses de la croissance nord-américaine des années quatre-vingt-dix soulignent qu'elle s'est accompagnée de profondes modifications structurelles tant sur les plans institutionnel qu'industriel (Boyer, 2001). Du point de vue de l'organisation industrielle qui est le nôtre ici, les entreprises américaines se sont profondément restructurées donnant naissance à des firmes marques (Ulrich, 1995), virtuelles (Chesbrough, Teece, 1996) voire fantômes (Dolan, Meredith, 2001). C'est le modèle poursuivi par Nike qui se définit comme un *designer*, celui de Dell qui se perçoit comme un point de rencontre entre clients et fournisseurs mais aussi, en Europe, d'Alcatel d'un producteur sans usine.

A un premier niveau, on pourrait soutenir que ces restructurations ne font qu'approfondir le mouvement d'externalisation engagé de longue date. Cette interprétation revient cependant à minimiser les changements organisationnels analysés concernant l'objet même de la firme et le fonctionnement des relations interfirmes. L'idée sous-jacente de rupture nécessite toutefois d'identifier une innovation radicale qui viendrait la légitimer et l'expliquer. La production modulaire postule à ce rôle. Une part croissante de la littérature en économie industrielle, essentiellement anglo-saxonne, soutient en effet que le développement de la modularité crée les conditions d'une telle rupture paradigmatique.

L'adoption de la production modulaire dans les industries d'assemblage apparaît comme une innovation technologique qui induit une réorganisation des firmes : les caractéristiques des produits - conçus et fabriqués de manière modulaire- sont telles que l'organisation des firmes doit être repensée (Ulrich, 1995 ; Sanchez, Mahoney, 1996 ; Sanchez, 2000). La modularité constitue un facteur clé justifiant la fin du modèle de la grande entreprise verticalement intégrée décrite par A. Chandler (1977) au profit d'une structure largement désintégrée gérant des fournisseurs spécialisés selon des modalités plutôt d'ordre marchand (Langlois, 2003). Réactualisant la thèse du *dominant design* (Utterback, Suarez, 1993), la modularité est constitutive d'une nouvelle architecture du produit, c'est-à-dire de la manière dont sont agencés les composants d'un système, qui oblige à repenser la forme organisationnelle efficace pour assurer la conception, la production et la commercialisation du produit final conduisant finalement à une restructuration, profonde et originale, des industries concernées (Baldwin, Clark, 2000 ; Veloso, Fixson, 2001 ; Galvin, Morkel, 2001). L'étendue de son registre d'intervention contribue à expliquer en quoi la modularité constitue le fondement crédible d'une rupture paradigmatique au niveau de l'organisation interne des firmes et, corollairement, des industries sur lesquelles elles évoluent.

Pour saisir cette double dimension nous nous focalisons sur la firme qui a en charge l'assemblage final du produit. De manière synthétique, la modularité semble se matérialiser par l'émergence d'un nouveau type de firme qualifiée d'architecte. En première approche, cette firme architecte se situe au point de convergence de deux évolutions portées par la modularité. La première concerne son contenu même : il s'agit d'une firme focalisée sur ses compétences foncières (Prahalad, Hamel, 1990) se percevant comme le nœud de relations amont (approvisionnement) et aval (commercialisation). Les propriétés du *dominant design* modulaire permettent en effet à l'entreprise de se recentrer de manière drastique sur les sources essentielles de la création de valeur : les innovations conceptuelles et fonctionnelles et la commercialisation. L'innovation détaillée et la production deviennent des activités marginales dont il est possible, et souhaitable, de se désengager. La deuxième évolution

concerne la manière dont la firme architecte opère pour coordonner ses relations interfirmes : il s'agit d'une forme hybride entre main visible et main invisible. La décomposition du produit en une série de modules, dont la conception et la production peuvent être réalisées de manière quasi-autonome, réduit les coûts d'une coordination interfirmes qui désormais se résume à l'échange de marchandises.

Cette proposition de l'avènement de la firme architecte repose sur une analyse des implications organisationnelles de la décomposition technique du produit sous une forme modulaire. Le premier objectif de cet article est là : présenter ces implications et montrer pourquoi la firme architecte, dont nous précisons alors la définition, s'impose suite au passage à la modularité. Il nous faudra cependant également discuter cette démonstration et mener une réflexion critique sur cette hypothèse.

En effet, si un point d'accord se dégage sur le fait que la modularité induit une redéfinition de la division des tâches et une remise en question des modes de coordination intra- et interfirmes (Lung, 2001), un débat se dessine néanmoins lorsqu'il s'agit de prendre la mesure de la rupture introduite. Plus précisément d'un côté, suivant une hypothèse forte, la modularité est perçue comme une véritable rupture productive aboutissant à l'émergence de la firme architecte. D'un autre côté, cette approche déterministe et l'interprétation prédictive de sa généralisation sont contestées. La corrélation empiriquement constatée entre désintégration verticale et modularité n'implique pas sur un plan logique l'existence d'une causalité. L'examen de cette ambiguïté entre corrélation et causalité conduit alors à relativiser la thèse de l'avènement de la firme architecte tout du moins dans une interprétation universaliste.

1. La modularité : une condition permissive au développement d'une firme architecte

La production modulaire est actuellement au centre de nombreux questionnements où se rejoignent préoccupations académiques et pratiques. Sur le plan académique, sa dimension émergente en fait un objet d'étude particulièrement intéressant puisqu'elle permet d'étudier *in vivo* les processus de transformation du couple technologie/organisation et d'interroger la thèse d'un déterminisme de la technologie sur l'organisation. Sur un plan pratique, les potentialités théoriques sont telles que la plupart des grandes entreprises d'assemblage entretiennent une veille sur ce thème et que colloques et séminaires professionnels se multiplient. En effet, la sophistication croissante des biens et l'utilisation de technologies dissemblables incitent les industriels à explorer de nouvelles solutions permettant de gérer la complexité croissante des produits.

La modularité relève justement de cette tentative de réduire la complexité d'un système définie comme une combinaison d'un effet quantitatif fonction du nombre de composants et/ou de fonctionnalités intermédiaires nécessaires pour définir la fonctionnalité du système global, et d'un effet qualitatif lié aux interactions entre ses composants et ses fonctionnalités intermédiaires (Simon, 1962). C'est pourquoi, il convient tout d'abord d'expliquer ce que recouvre la production modulaire en tant que fait technique. Néanmoins ce nouveau *dominant design* dépasse cette seule dimension technique et suggère l'adoption d'une nouvelle structure organisationnelle. La relation technologie/organisation établie, il nous sera alors possible d'explicitier les arguments qui conduisent les tenants de l'hypothèse forte d'une rupture à justifier que la production modulaire exige une réorganisation globale des industries l'adoptant, légitimant ainsi l'hypothèse de l'avènement de la firme architecte.

1.1. Les implications organisationnelles de la production modulaire

Au sens le plus intuitif du terme, la modularité consiste en une décomposition d'un produit complexe en une série de sous-ensembles qui sont assemblés les uns aux autres pour former le produit final¹. Dans la mesure où chaque sous-ensemble peut lui-même être un assemblage de différents composants physiques, une définition plus précise de la modularité doit être proposée à partir de la notion d'architecture produit. Cette notion peut également être mobilisée, selon une démarche heuristique, pour décrire l'organisation permettant de valoriser l'exploitation économique de l'innovation technique. Un isomorphisme se dessine : l'architecture technologique modulaire engendre une architecture organisationnelle modulaire.

1.1.1. La décomposition technique des systèmes complexes

Dans son article fondateur sur la modularité, K. Ulrich (1995) cherche à élaborer un vocabulaire commun afin d'ouvrir l'agenda de recherche sur ses implications économiques. Conceptuellement, au sommet de la hiérarchie figure l'architecture produit qui se définit comme la manière dont sont agencés les éléments fonctionnels et les composants physiques formant un système global (le produit). Caractériser l'architecture d'un produit revient à spécifier :

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

Le croisement de ces trois dimensions distingue les architectures produits. *Une architecture sera modulaire lorsqu'il existe une identité entre composants physiques et fonctions et un découplage des interfaces reliant les composants.* A l'inverse, une architecture produit sera "intégrée" lorsqu'il est impossible d'associer un composant physique à une fonction (on a une relation de un à plusieurs) et/ou que les interfaces entre les composants sont couplées.

L'architecture modulaire s'avère donc un puissant réducteur de la complexité des systèmes complexes en offrant une décomposition en sous-systèmes autonomes, au sens où il est possible de les développer et de les pré-assembler séparément, reliés les uns aux autres par des interfaces relativement stables. Le découplage des interfaces autorise alors une modification des sous-systèmes, désormais qualifiés de *modules*, sans entraîner une modification des autres modules ni la redéfinition du produit dans sa globalité.

¹ L'image du jeu de Lego® est souvent employée pour décrire les principes de la modularité.

Cette disjonction s'avère porteuse de nombreux atouts. Elle facilite l'introduction d'innovations incrémentales, portant sur certains modules uniquement, et par conséquent autorise une redéfinition des produits en fonction des demandes exprimées *ex post* sur le marché (Langlois, Robertson, 1992). Plus généralement, la modularité permet d'accroître la variété et la différenciation de l'offre (Schaefer, 1999), de raccourcir les délais de conception (Ulrich, 1995 ; Baldwin, Clark, 2000), de faciliter le développement d'apprentissages localisés (Sanchez, Mahoney, 1996). Ces propriétés peuvent être synthétisées par les trois sous notions de modularité suivantes : *Modularity in Design, in Production, in Use* (Baldwin, Clark, 2000). La modularité en conception suggère que la conception détaillée des modules est indépendante entre chaque module et interdépendante entre les modules. La modularité en production suppose que les modules sont produits séparément tout en suivant la logique de variété et flexibilité sous-jacente à la modularité et en respectant les contraintes de coûts et de qualité. La modularité en usage vise d'une part, à assurer au client final la possibilité d'améliorer le produit en remplaçant certains composants techniquement dépassés et d'autre part, à réduire les coûts de maintenance et de réparation en simplifiant les opérations de manutention et le coût des composants à changer (*cf.* Ulrich, 1995 sur ce point).

L'intérêt économique pour la modularité ressort initialement de sa dimension technique et des nouvelles opportunités ouvertes en matière de variété, de flexibilité et d'après-vente. Reste à savoir quelle forme organisationnelle s'avère apte à gérer cette modularité technologique.

1.1.2. L'architecture organisationnelle modulaire comme réponse à l'architecture technique modulaire

Les enjeux organisationnels de la modularité peuvent être utilement saisis à partir de la typologie des organisations proposée par R. Sah et J. Stiglitz (1986). Ils avancent que les architectures organisationnelles des firmes se divisent en deux grandes familles. La première est qualifiée de hiérarchique dans le sens où quelques individus, voire un seul, décident de l'ensemble des projets conduit dans la firme. L'alternative est qualifiée de polyarchique puisque plusieurs individus disposent de la faculté d'engager des projets indépendamment les uns des autres. L'intérêt d'une architecture modulaire est qu'elle emprunte globalement les éléments positifs de ces deux formes d'organisations car elle introduit une distinction entre décisions générales et détaillées.

Au niveau des décisions générales, la production modulaire possède une forte dimension hiérarchique puisqu'au fondement de la décomposition technique du système global se trouve un (groupe d') agent(s) qui a(ont) pour charge de définir l'architecture du produit. La décision est donc centralisée. Le rôle de l'architecte se prolonge au-delà puisqu'il doit contrôler la réalisation des sous-systèmes, les modules, et leur compatibilité. La différence fondamentale avec une production intégrée est que, dans cette dernière, la hiérarchie doit effectuer ce contrôle à un niveau détaillé puisque la cohérence d'ensemble du produit évolue au fur et à mesure que chaque composant est conçu. Dans la production modulaire, l'architecte n'a pas besoin de vérifier les détails de la conception des modules puisque seules les interfaces doivent être spécifiées précisément (Ulrich, 1995).

Le rôle de l'architecte se limite à la définition des éléments visibles du système (Baldwin, Clark, 2000). 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 par l'architecte du produit. Dès lors, le contenu même du module que ce soit dans l'agencement physique de ses composants (et leurs

propriétés intrinsèques) ou dans l'agencement fonctionnel des sous-systèmes incorporés dans le module, peut demeurer invisible dans le sens où les autres parties liées au développement du produit n'ont pas besoin de connaître ces informations pour réaliser leurs tâches. La modularité possède donc une forte dimension polyarchique car elle autorise une décomposition des tâches entre plusieurs individus en ce qui concerne les décisions détaillées.

Cette possibilité d'introduire une organisation simultanément hiérarchique et polyarchique selon la nature des décisions prises en considération, résulte du rôle clé joué par les interfaces. Elles constituent les structures informationnelles essentielles synthétisant toutes les données utiles à la spécification détaillée des actions des différents agents responsables des modules (Sanchez, Mahoney, 1996).

La logique modulaire au niveau du produit trouve alors son écho dans l'instauration d'un partage du travail entre des agents spécialisés. En effet, puisqu'elle autorise un travail autonome et parallèle sur les modules, il est possible de confier la réalisation de chaque module à des agents spécialisés sur tel ou tel type de fonctionnalité ou de matériaux ce qui doit accroître l'efficacité d'ensemble grâce à une décomposition des compétences requises. 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 en mercatique afin de concevoir des produits commercialement viables. Les responsables de modules vont eux se spécialiser dans la production des modules particuliers dont ils ont la charge. Dans une perspective dynamique, cette partition des tâches favorise l'approfondissement des mécanismes d'apprentissage et constitue une stratégie offensive d'accumulation et de valorisation des connaissances aptes à gérer les modifications de l'environnement (Sanchez, Mahoney, 1996).

La possibilité de tirer parti efficacement de cette division des tâches entre unités spécialisées provient de l'assouplissement des contraintes de coordination. La modularité infléchit l'arbitrage entre spécialisation des tâches et centralisation dressé par la contrainte de coût associée à la transmission, au recueil et traitement de l'information (Becker, Murphy, 1992). L'architecture modulaire du produit suscite la constitution d'une architecture organisationnelle symétriquement modulaire.

Au sommet de la décomposition du système complexe, se situe une hiérarchie, au sens de R. Sah et J. Stiglitz, qui est le nœud décisionnel en matière de conception de l'architecture produit. Elle est reliée aux autres unités chargées du développement ou de la production par des interfaces qui sont représentées par des canaux de communications mobilisant largement les technologies de l'information (CAD, CIM, EDI, PDM) (Sanchez, 2000). Les modules seraient, dans l'analogie organisationnelle, soit des équipes projets relevant ou non de la firme architecte, soit, si on s'intéresse à l'aval du cycle de production, des unités de production là encore internes à la firme ou externes. Ces équipes ou unités de production correspondent à une polyarchie dans le sens où chacune participe à la réalisation du produit final conçu par l'architecte, à partir d'une prise de décisions décentralisées. Les différents « modules organisationnels » n'ont pas à être reliés les uns aux autres pour prendre leurs décisions opérationnelles mais doivent juste s'assurer que le développement et/ou la production du module correspond aux interfaces spécifiées *ex ante*².

² On retrouve une structure organisationnelle proche de l'adhocratie (Mintzberg, 1982).

La partition des tâches permise par l'architecture produit laisse néanmoins en suspend la question de l'arbitrage faire-faire/faire. L'analyse précédente si elle soutient l'hypothèse que la modularité technique permet d'utiliser les mérites de la spécialisation sans engendrer de forts coûts de transfert d'information, ne suffit pas à conclure sur le degré d'intégration des « modules organisationnels ».

1.2. Le recentrage de la firme dans un simple rôle d'architecte

L'argumentation en faveur d'une spécialisation des tâches entre des unités spécialisées n'implique pas, *en elle-même*, que ces unités relèvent d'unités juridiquement indépendantes. Néanmoins cette distinction est souvent floue chez les auteurs travaillant sur la modularité et il est fréquent que la discussion sur les mérites de la spécialisation dérive vers un plaidoyer en faveur de l'externalisation où la firme se verrait réduite à son plus simple rôle de point de contact au marché final (*cf.* Sanchez, Mahoney, 1996). La justification de cette position relève d'une argumentation identifiant les facteurs permissifs et incitatifs de la modularité en faveur de l'externalisation. La traduction de ces arguments dans quelques secteurs particulièrement typiques de la modularité, fortement désintégrés et structurés autour de nouvelles formes de relations verticales interfirmes, suggère l'émergence d'un nouveau paradigme organisationnel en matière de coordination : celui d'une « main évanescence ». La firme s'approprie dès lors comme une firme architecte.

1.2.1. L'externalisation des « modules-organisationnels »

La troisième étape de notre démarche consiste à étudier la manière dont l'architecture organisationnelle modulaire repose la question des frontières de la firme. Partant de l'hypothèse que la modularité s'accorde aisément d'une division (technique) du travail, plusieurs registres d'argumentation se combinent pour souligner l'efficacité d'une désintégration verticale et horizontale de la firme qui initie cette « stratégie produit » (Ulrich, 1995).

a. L'accès aux compétences complémentaires

Un premier niveau d'argumentation concerne la dimension cognitive. Une limite à l'externalisation des activités se situe dans la contrainte d'adhérence de l'information (*sticky information*) qui cherche à traduire l'idée que les connaissances mobilisées dans l'acte productif sont polymorphes (opposition tacite/codifiée par exemple) et partiellement constituées (von Hippel, 1994). Si une architecture intégrée se heurte de plein fouet à cette contrainte compte tenu des ajustements permanents entre composants et process/produit nécessaires à ce type de production (Ulrich, 1995), l'architecture modulaire permet de réduire le nombre et de simplifier les itérations nécessaires. En effet, puisque les seules connaissances à diffuser concernent les interfaces qui sont largement constituées *ex ante*, l'échange entre firmes se rapproche de l'échange d'informations (codifiées). L'intérêt de cette réduction de l'adhérence est qu'elle n'implique pas un appauvrissement du contenu technologique des modules. Tout au contraire, les éléments invisibles peuvent voir leur niveau de complexité et de sophistication s'accroître sans altérer la structure d'ensemble du système global. Par exemple, l'accélération des vitesses de calcul des microprocesseurs améliore les performances des ordinateurs sans remettre en cause l'architecture du produit. Dans cette perspective, l'externalisation a permis aux constructeurs informatiques de bénéficier des apprentissages localisés des constructeurs de microprocesseurs (Langlois, 2002).

Une telle exploitation suppose néanmoins que l'architecte ait *ex ante* spécifié les interfaces. Or, comme le soulignent Brusoni, Prencipe et Pavitt (2001) une telle hypothèse revient à supposer que l'architecte possède une maîtrise élevée des interactions entre fonctions et matériaux de chaque module, ce qui pose problème lorsqu'on considère le cas d'un système complexe où les modules sont eux-mêmes un assemblage de fonctionnalités et de matériaux qui connaissent des rythmes de changements techniques divergents. Renversant la charge de la preuve, R. Sanchez et T. Mahoney (1996) soutiennent que l'externalisation pallie cette difficulté et accroît la capacité d'intégration de nouvelles connaissances concernant les modules. Reprenant le travail de R. Henderson et K. Clark (1990) distinguant innovation sur les composants et innovation architecturale (sur les interactions entre les composants et les manières de les combiner), ils avancent que l'externalisation réduit les filtres informationnels internes aux firmes qui freinent l'introduction d'innovation sur l'une ou l'autre dimension. Plus particulièrement, l'externalisation accélère l'apprentissage au niveau de l'architecture du produit en brisant les routines organisationnelles qui limitent l'exploitation des opportunités d'amélioration architecturale.

Ces opportunités sont d'autant plus fortes que la logique de standardisation liée à la modularité autorise un fonctionnement souple du marché. Les risques de pertes de secrets commerciaux étant faibles³, la firme est incitée à largement diffuser les caractéristiques des modules qu'elle recherche afin de faire jouer la concurrence entre les fournisseurs potentiels. Si en statique cette concurrence conduit à rechercher les mieux-disants du triptyque qualité/coût/délai, en dynamique une profonde émulation technologique émerge entre les fournisseurs spécialisés de modules qui visent à se différencier de leurs concurrents (*cf.* Sturgeon, 2000 sur l'informatique ; Veloso, Fixson, 2001 sur l'automobile).

b. La réduction des coûts d'approvisionnement et la flexibilité du capital

Cette diffusion des standards a également pour objet d'accroître les opportunités d'économies d'échelle et de gamme que ce soit en production ou en conception (Mc Alinden, 1999). Externaliser la conception et la production de modules permet d'élargir la taille des marchés si on fait l'hypothèse qu'il existe plusieurs clients pour le module concerné. Or, la logique de la modularité crée les conditions d'une standardisation des interfaces qui tend, par le jeu des économies de réseaux, à s'imposer à moyen terme à l'ensemble des acteurs d'une industrie donnée renforçant les possibilités d'économies d'échelle. Ainsi dans le secteur informatique, la standardisation des normes de connectique a entraîné l'émergence de nombreuses firmes spécialisées travaillant pour différents constructeurs.

O. Williamson (1985) souligne que cet argument en faveur du marché doit néanmoins être pris dans sa globalité et considérer l'existence de coûts de transactions. Là encore, les premiers travaux sur ce thème tendent à valider l'hypothèse que la modularité engendre une réduction de ces coûts. F. Veloso et S. Fixson (2001) avancent que l'interchangeabilité technologique liée à l'architecture modulaire dans une industrie entraîne une dé-spécification des actifs. Les risques de comportements opportunistes, que ce soit chez le client ou chez le fournisseur de module, sont alors réduits encourageant le recours à l'externalisation. Une argumentation fondamentalement similaire se retrouve chez C. Baldwin et K. Clark (2000)

³ La différenciation concurrentielle dans la logique modulaire tend à se déplacer du produit en lui-même vers les services entourant le produit. Ce qui compte désormais ce sont la marque, les services proposés, les délais, etc. La diffusion des « secrets » concernant les modules, du moins les éléments visibles, est au contraire encouragée afin d'accroître la taille du marché pour favoriser les opportunités d'économies d'échelle et rendre possible une mise en concurrence entre fournisseurs.

qui montrent, en s'appuyant sur le secteur informatique, que la division institutionnelle du travail dans le cadre de la modularité supporte de faibles coûts de transaction et d'agence.

La dé-spécification des actifs induite (et recherchée) par la standardisation des interfaces doit également permettre de jouer avec les différentiels des coûts de revient. Il est fréquemment avancé que l'extension de la modularité dans les industries traditionnelles relève d'une stratégie visant à externaliser auprès de fournisseurs offrant de moindres avantages sociaux. Les syndicats de l'industrie automobile, relativement présents chez les constructeurs mais sous-représentés chez les équipementiers, perçoivent dans la modularité une modalité de réduire le ratio d'intégration verticale sous couvert de contrainte technico-organisationnelle afin de compresser la part allouée à la rémunération du travail dans la chaîne de valeur (Mc Alinden, 1999). Les conditions de travail chez ces fournisseurs permettent de plus de matérialiser les avantages en termes de variété et de flexibilité potentiellement offerts par l'architecture modulaire. Elles trouvent notamment leur expression dans la mise en place d'usines dédiées dans l'automobile (Larsson, 2002) ou d'usines flexibles dans des secteurs comme l'électronique couplant cycle court de conception et de production et forte capacité logistique (Sturgeon, 2000).

Cette recherche de flexibilité productive s'inscrit finalement dans un processus plus global de recherche de liquidité par la firme. En confiant le développement et la production des modules à des fournisseurs spécialisés, la firme réduit le montant de son capital immobilisé. Dans les secteurs où les modules sont relativement simples, cette externalisation conduit à acheter sur étagère des modules pour lesquels les fournisseurs ont réalisé en totalité et indépendamment les investissements matériels et immatériels. Dans les secteurs où les délais de recouvrement des investissements sont plus longs, la modularité s'accompagne de l'émergence de nouvelles formes de rémunération s'inscrivant dans cette logique de liquidité. Le développement de l'Airbus A380 est emblématique de ce mouvement. En échange d'un pourcentage dans le capital du projet, les équipementiers de premier rang se voient confier la gestion du développement et de la production de modules complets qu'ils livreront sur la durée de vie du programme.

Ainsi présentée la modularité constituerait un levier d'ordre technologique permettant d'accroître le degré de désintégration verticale et horizontale. Reste à savoir quel est le contenu de la firme.

1.2.2. L'avènement de la firme architecte

Les arguments se rejoignent pour justifier que la modularité favorise un recours accru à l'externalisation mais selon un nouveau type de relations interfirmes. Sa généralisation sectorielle validerait alors l'hypothèse de l'émergence d'un nouveau paradigme organisationnel. Cette hypothèse est récemment présentée dans un article de R. Langlois (2003) où la modularité opère comme le catalyseur d'une substitution à la forme dominante de coordination : la firme chandlerienne (Chandler, 1977).

Plaçant sa réflexion dans une perspective historique, il explique que la grande organisation verticalement intégrée s'est imposée comme autorité coordinatrice de flux croissants en nombre et en complexité suite à l'extension des marchés. L'intégration nationale des marchés et l'accroissement concomitant du pouvoir d'achat ont en effet ouvert de nouvelles opportunités de profit aux firmes. Néanmoins les contraintes technologiques, financières et commerciales liées à leur exploitation ont conduit à une substitution de la main invisible smithienne par celle, visible, des dirigeants.

Après une période de stabilisation du système, le capitalisme connaîtrait, depuis le début des années quatre-vingt-dix, une nouvelle phase marquée par le retour à une coordination marchande qu'il nomme *Vanishing Hand*. Au niveau conceptuel, cette « *main évanescence* » se présente comme une forme hybride entre d'un côté, la main invisible d'A. Smith par le fait qu'il s'agit de coordonner l'échange de marchandises pré-constituées par des firmes indépendantes et de l'autre, la main visible de l'autorité hiérarchique par le fait qu'elle retrouve la dimension chandlerienne d'une étroite coordination des flux et d'une forte capacité à gérer la complexité des flux et l'incertitude liée. La « *main évanescence* » dérive donc d'une flexibilité toute marchande relayée matériellement par l'utilisation des nouvelles technologies de communication. Cette double filiation intellectuelle s'appréhende par les motifs de son émergence. Comme chez A. Smith, la main évanescence trouve ses fondements dans l'approfondissement de la division du travail découlant de l'extension de la taille des marchés découlant elle-même de la conjugaison de deux processus relevant des champs institutionnels et technologiques. Tout d'abord, la libéralisation des échanges qui se renforcent sous le poids des grandes institutions internationales et de la prédominance de la doctrine libérale. Ensuite le développement des technologies de l'information et des communications qui contribuent à l'image des chemins de fer et du télégraphe à la fin du XIX^{ème} siècle à effacer les distances physiques et temporelles.

Dans cette perspective, la modularité devient l'instrument permettant de saisir les opportunités de profit ouvertes par les innovations technologiques et l'imbrication croissante des marchés grâce à la standardisation des informations nécessaires à l'acte productif. Ainsi la modularité serait un des leviers, d'ordre technologique mais trouvant un relais organisationnel comme nous l'avons montré, favorisant l'émergence d'une coordination non plus nécessairement hiérarchique mais pas tout à fait « invisible » compte tenu de la complexité des dimensions (diversification de masse, flexibilité de réponse et d'initiative) qu'il s'agit de gérer dans un environnement dynamique.

Cette hypothèse de la « *main évanescence* » trouve une illustration particulièrement nette dans l'organisation des secteurs de hautes-technologies comme l'industrie des semi-conducteurs (Langlois, Robertson 1992) ou l'informatique (Baldwin, Clark, 2000 ; Sturgeon, 2002) mais aussi dans certains secteurs traditionnels comme l'industrie du cycle (Galvin, Morkel, 2001). Le travail de C. Baldwin et K. Clark résume l'ensemble des séquences du raisonnement que nous avons pu conduire ici. Adoptant une logique d'ingénieur, ils montrent que le choix stratégique d'IBM de concevoir un ordinateur modulaire dans les années soixante implique une réorganisation tout d'abord interne du processus de production. La division interne des tâches s'est ensuite accompagnée, lorsque les interactions prévisibles entre les modules ont suffisamment été caractérisées, d'un processus d'externalisation auprès de fournisseurs spécialisés hautement réactifs et dynamiques (Baldwin, Clark, 2000).

L'industrie informatique formerait ainsi la matrice d'un nouveau modèle organisationnel où la grande firme intégrée disparaîtrait au profit d'une structure réticulaire où la firme au contact des clients finals prendrait à sa charge, en amont, la conception de l'architecture globale du produit et, en aval, la fonction marketing, et jouerait le rôle d'un pivot au sein d'un réseau de firmes spécialisées en charge de la production proprement dite, de la conception détaillée des modules, voire du produit final, et des livraisons. Dans cette perspective, l'extension de la modularité dans l'économie conduirait à un approfondissement du mouvement d'externalisation aboutissant à la domination d'un nouveau type de firme : la firme architecte. Si on suit G.B. Richardson (1972), la firme se suffirait en tant qu'assemblage de compétences complémentaires liées au savoir-vendre (anticipation et adaptation à la demande, renforcement des services liés au produit), au savoir-définir (l'architecture produit

technologiquement pertinente par rapport à la demande et à l'état des technologies) et au savoir-acheter (trouver les fournisseurs et gérer les flux logistiques). C'est l'image emblématique du constructeur d'ordinateur Dell recevant les commandes en temps réels des consommateurs *via* l'Internet et les relayant, toujours en temps réel, auprès d'un réseau de fournisseurs de modules mobilisés selon les caractéristiques de la configuration réclamée par le client final. Mais ce Dellisme peut-il réellement constituer un nouveau modèle industriel succédant au Fordisme, Sloanisme et Toyotisme (Sako, Murey, 2000) ?

2. Le modèle de la firme architecte est-il généralisable ?

L'avènement de la firme architecte dans les industries d'assemblage résulte donc d'une causalité construite en trois étapes : la modularité implique une ré-organisation des firmes favorisant l'externalisation basée sur une coordination plus marchande. Mais avec l'idée complémentaire que la firme reste au cœur de la hiérarchie :

- parce qu'elle est le pivot de la conception globale du produit ;
- parce qu'elle médiatise l'accès au marché ;
- parce qu'elle assure une coordination rigoureuse de ses fournisseurs.

Architecte du produit, elle est également architecte du réseau commercial et du réseau d'approvisionnement qu'elle contrôle et pilote.

Si la démonstration est claire, il reste qu'elle suscite une interrogation sur son degré de généralité et d'irréversibilité. L'hypothèse d'un nouveau paradigme organisationnel qui s'imposerait à l'ensemble des industries d'assemblage s'inscrit en effet dans la tradition de recherche d'une « one best way » universelle qu'il convient de toujours soumettre à une critique historiquement et institutionnellement située et, par conséquent, empiriquement fouillée. C'est en suivant un tel agenda de recherche, que l'hypothèse d'un modèle monolithique qui se serait succédé dans l'industrie automobile autour du fordisme, sloanisme et toyotisme a été largement déconstruite (Boyer, Freyssenet, 2000). L'avènement de la firme architecte exige un tel examen critique. Deux niveaux d'interrogations sont mobilisables. A un premier niveau, on peut examiner les faiblesses internes à ce mode d'organisation. A un second, il s'agit de revenir sur certains enchaînements de la causalité de la première partie, ce qui amène à s'interroger sur les conditions implicitement nécessaires à son fonctionnement.

2.1. Les critiques internes concernant l'efficacité de la firme architecte

L'efficacité de la firme architecte relève essentiellement d'une analyse statique. Cette architecture organisationnelle tient sa force de l'optimisation du processus d'allocation des ressources découlant du renforcement de la concurrence entre des fournisseurs aux responsabilités élargies. Les limites traditionnellement avancées à l'égard du marché seraient en effet levées grâce aux interfaces qui autorisent standardisation et sélection concurrentielle des fournisseurs. Si à court terme les avantages de cette organisation semblent clairs, à moyen-long terme des risques émergent. Deux types de problèmes se font jour : celui d'une réduction de la capacité innovatrice de la firme modulaire, celui, partiellement lié, d'un renversement du pouvoir de marché.

2.1.1. La firme architecte peut-elle être durablement innovatrice ?

Derrière la notion de firme architecte figure l'idée que les gisements de l'efficacité de l'entreprise résident dans sa faculté à mobiliser rapidement les compétences complémentaires

de fournisseurs mis en concurrence. Lorsqu'on s'interroge sur la manière dont procède l'innovation, les fournisseurs apparaissent comme les éléments clés du système dans la mesure où la dynamique concurrentielle doit stimuler leur recherche. Cette logique d'un annuaire des technologies offert à la firme architecte pose cependant la question du type d'innovation envisageable.

Une première ambiguïté concerne le degré de connaissance dont doit disposer en interne la firme architecte pour pouvoir accomplir son rôle de *designer*. La consolidation et l'actualisation des connaissances technologiques impliquent en effet leur mobilisation régulière et l'enrichissement de la base de connaissances interne à la firme exige de maintenir un certain degré de connaissances connexes dans les domaines qui dépassent la définition stricte de l'architecture produit (Brusoni, Prencipe, Pavitt, 2001). Pour R. Sanchez et T. Mahoney (1996) ce problème n'en est pas un car la firme architecte parvient à capter les connaissances issues des fournisseurs spécialisés. Elle peut se contenter de développer des apprentissages localisés concernant la définition de l'architecture, les connaissances connexes seront développées par les fournisseurs et intégrées à la firme en fonction des opportunités révélées par les premiers. Mais comment l'architecte peut-il intégrer les propositions des fournisseurs ?

Si on suit la logique de l'architecture modulaire, ces connaissances transmises par les fournisseurs ne concernent que les éléments visibles au sens de C. Baldwin et K. Clark. Autrement dit, les fournisseurs transfèrent des connaissances, qui relèvent d'ailleurs plus d'informations que de connaissances proprement dites, sur la fonctionnalité globale du module dont ils ont la charge. La délégation de la conception détaillée s'accompagne forcément d'une déperdition des connaissances encapsulées dans le module. C'est d'ailleurs un des avantages de la modularité que d'encourager une spécialisation du registre des connaissances à consolider (Sanchez, 2000). Ce problème s'accroît lorsque la firme externalise également la production des modules. Dans ce cas, même si la firme cherche à maintenir en interne des compétences liées à la conception détaillée, l'externalisation de l'activité productrice, l'amène à se priver des boucles courtes entre processus et produit (Kline, Rosenberg, 1986). L'architecture modulaire réduit l'étendue de la base de connaissances de la firme et, dans une perspective plus dynamique, affaiblit sa capacité d'absorption c'est-à-dire sa capacité à intégrer ultérieurement des connaissances, et donc des technologies, nouvelles (Cohen, Levinthal, 1990).

Il en découle que l'organisation modulaire restreint le profil des innovations qui s'ouvrent à la firme architecte. L'adoption d'une organisation modulaire limite les opportunités d'apprentissage croisé source des innovations les plus radicales. En confiant l'innovation aux fournisseurs, la firme architecte tend à légitimer une certaine inertie concernant l'innovation produit et process. Les progrès portent sur les modules séparément et non sur le produit dans son ensemble. Ainsi, la logique d'architecte rend délicate l'introduction d'innovations systémiques et la limite à l'adoption d'innovations incrémentales, portant essentiellement sur les modules, et non sur l'architecture globale du produit, ce qui serait pourtant nécessaire pour produire une offre réellement différenciée (Cheesbrough, Teece, 1996). Choisir une organisation modulaire suppose donc, implicitement, que la firme estime que l'essentiel des innovations systémiques a déjà été réalisé *ou* que l'ensemble des concurrents, présents ou potentiels, adopte une organisation similaire ce qui placerait le registre de la concurrence sur un même niveau.

La première branche de l'alternative est difficilement tenable puisqu'elle conduit à supposer l'existence d'une fin de l'histoire du progrès technique (Abernathy, Utterback,

1978). L'alternative est économiquement plus tenable. Elle peut se justifier par l'hypothèse que le jeu des rendements croissants conduit à l'adoption de standards qui fixent le registre de la différenciation et de la concurrence interfirmes. La supériorité, à un instant donné, d'un couple architecture produit/organisationnelle tendrait à se renforcer et à se pérenniser sous le jeu d'une imitation renforçant la croyance en l'efficacité du modèle d'une part et d'autre part, grâce à l'apparition de fournisseurs spécialisés et aux apprentissages liés chez les fournisseurs et chez la firme architecte qui améliorent dans le temps l'efficacité de l'organisation. Ce pari est néanmoins risqué tant les forces concurrentielles et les rapports de force se distordent avec le développement de la production modulaire.

2.1.2. Le renversement du pouvoir de marché dans la chaîne de valeur

En se limitant à un rôle d'architecte, la firme risque de perdre sa capacité d'expertise sur la pertinence des modules et par conséquent sur les prix de vente proposés par les fournisseurs. On peut objecter que la modularité permet de s'affranchir de ce risque par l'émission d'appels d'offre dont le but est de révéler l'information et par une remise en cause régulière des relations interfirmes. La crédibilité de cette menace de rupture suppose néanmoins qu'il existe sur le marché de nombreux fournisseurs de modules. Cette hypothèse ne va pas de soi.

Si on peut admettre que la standardisation des modules accroît la taille du marché et suscite l'apparition de fournisseurs spécialisés, le jeu des rendements croissants accrédite l'hypothèse qu'une concentration du marché va s'opérer. Celle-ci est d'autant plus vraisemblable que les modules sont eux-mêmes des sous-systèmes complexes dont les coûts de développement et/ou des investissements matériels sont élevés. Ainsi le marché des semi-conducteurs présente une structure oligopolistique compte tenu de la taille des usines nécessaire à la réalisation d'économie d'échelle. En outre, faire appel à de nouveaux entrants est peu crédible puisqu'il s'agirait de trouver des fournisseurs prêts à supporter le coût d'entrée sur le marché des modules concernés malgré l'absence de garantie sur la pérennité de la relation.

La question sous-jacente concerne alors le rapport de force entre les parties de la chaîne de valeur. Dans la présentation de l'industrie informatique réalisée par T. Sturgeon (2000), les constructeurs d'ordinateurs se situent au sommet d'une pyramide de fournisseurs sur lesquels ils disposent d'un fort pouvoir de marché. Néanmoins, comme l'explique P. Dockès (1999), le pouvoir de marché s'appréhende dans le temps, même s'il peut être lu ponctuellement, dans la mesure où il s'agit de la reproduction d'un rapport de force historiquement institutionnalisé. Une telle grille de lecture amène à se poser la question de la pérennité de la domination de l'architecte sur la chaîne de valeur. Déjà, l'histoire de l'industrie informatique souligne qu'une partie de ce rapport de force s'est déplacée, grâce à la modularité, des constructeurs informatiques vers les fournisseurs de microprocesseurs et de logiciel système. Intel et Microsoft sont les fruits de la modularité. Cette montée en puissance leur a permis de renverser le pouvoir de marché en leur faveur au sens où ils sont parvenus à capter une part croissante de la rente au sein de la chaîne de valeur. Une telle évolution est à craindre dans d'autres secteurs (Lung, 2001).

Ce renforcement du pouvoir des fournisseurs de modules peut d'ailleurs conduire à fragiliser la position des firmes architectes déjà en place. Les fournisseurs peuvent aller jusqu'à favoriser l'émergence de nouveaux entrants pour consolider leur propre position. C'est ainsi qu'Intel a, dans la moitié des années quatre-vingt, favorisé l'essor de Compaq afin d'affaiblir la position dominante d'IBM (Cheesbrough, Teece, 1996). La modularité s'avère

en effet une arme à double tranchant puisqu'elle limite les coûts d'entrée de nouveaux architectes dans une industrie. Profitant d'une fenêtre d'opportunité, un nouvel arrivant peut pénétrer le marché pour un montant d'investissements irrécouvrables limités, d'autant plus qu'il n'a pas supporté les coûts de développement initiaux, en s'appuyant sur le réseau des fournisseurs de modules.

Une parade organisationnelle consiste pour les firmes en place à maintenir le registre de la concurrence au niveau de l'architecture globale. Dans ce cas, les firmes architectes se doivent d'étendre le registre de leur base de connaissances à la fois au niveau de l'architecture générale et des modules en particulier. La firme conserve alors la possibilité d'introduire des innovations systémiques et maintient un niveau élevé de barrières à l'entrée. Mais ceci suppose de reproduire la forme organisationnelle d'une firme intégrée (Cheesbrough, Teece, 1996) !

2.2. Le couple production modulaire/main évanescence est-il généralisable ?

Au-delà de la fragilité même de la firme architecte, se pose la question de sa généralisation. En effet, les éléments de preuve empirique où s'imposerait cette forme organisationnelle sont souvent puisés dans l'électronique et l'informatique où les contraintes technologiques sont relativement similaires. Cette coïncidence que l'on pourrait mettre sur le compte d'une « avance » de ces secteurs par rapport aux autres selon une lecture sujette à déterminisme technologique, peut également s'interpréter comme une illustration des spécificités sectorielles. Il s'agit dès lors de s'interroger sur le degré de généralité des différents enchaînements causaux dégagés dans la première partie lorsqu'on les transpose à des contextes sectoriels et institutionnels autres que ceux où l'avènement de la firme architecte a pu être soutenu.

Deux entrées sont mobilisables. La première porte sur le degré de spécificité des industries où le couple modularité technique/main évanescence est mis en avant. En suivant l'argumentation des tenants de la firme architecte, il s'agit de s'interroger sur les possibilités d'un transfert dans d'autres industries des principes de la modularité et de son corollaire l'externalisation. La seconde entrée déplace la réflexion au niveau de la causalité finale : à supposer que la modularité technique soit concevable, va-t-on inéluctablement vers une organisation du type « main évanescence » ? La réflexion se focalise alors sur l'autonomie des dimensions institutionnelles et organisationnelles.

2.2.1. La modularité peut-elle constituer un modèle transposable à d'autres industries d'assemblage ?

Dans le paragraphe précédent nous avons *in fine* argumenté que la modularité ne lève que partiellement les critiques traditionnellement adressées à la coordination marchande en dépit de « l'invention » des interfaces censées simplifier le processus de coordination. Ce problème s'avère d'autant plus critique que les interfaces sont elles-mêmes difficiles à définir *ex ante*. Déplacer la réflexion sur ce niveau amène à douter des possibilités de généralisation du couple architecture technique/organisationnelle. Le secteur automobile apparaît à cet égard particulièrement éclairant.

Une raison du succès de la modularité dans le secteur informatique repose sur la facilité du produit lui-même à faire l'objet d'un *dominant design* modulaire. Un ordinateur s'accorde assez facilement de la définition stricte proposée par Ulrich (1995) d'une architecture

modulaire, à savoir une identité quasi-parfaite entre fonction et module. Néanmoins ce cas est relativement atypique dans les industries d'assemblage. Si nous prenons le cas d'une automobile, il existe un recouvrement imparfait entre les fonctions et les modules car la plupart des fonctions du véhicule trouvent leur traduction physique en différents lieux du véhicule (Sako, Muray, 2000). La fonction freinage par exemple part du cockpit où le conducteur décide d'actionner la pédale qui, à son tour, transfère l'information vers le système de freinage situé à l'avant et à l'arrière. Le tout se complique si on ajoute l'intervention de calculateurs électroniques du type ABS par exemple. La fonction freinage n'est donc pas isolable en un module physiquement compact. La voie empruntée par les constructeurs et équipementiers automobiles consiste d'ailleurs à proposer une nouvelle décomposition du véhicule sous la forme de modules physiquement compacts mais, simultanément, pluri-fonctionnels et sub-fonctionnels. Autrement dit, chaque module peut potentiellement remplir plusieurs fonctions simultanément et n'être qu'un des composants d'une fonctionnalité donnée (le freinage par exemple). Un tel découpage modulaire se révèle cependant très contraignant d'un point de vue technique.

En effet, une automobile est un produit système au sens où modifier un des modules oblige à reconcevoir les autres sous peine de rompre l'intégrité du véhicule (Clark, Fujimoto, 1991). Dans cette perspective, la modularisation de ce système impose :

- i. que le constructeur conserve en interne des compétences étendues pour pouvoir gérer les interactions entre les différents modules. En effet, les interactions relèvent de l'imparfaitement prédictible *ex ante* ce qui contraint la firme architecte à se poser comme un intégrateur de système plus que comme une firme architecte (Brusoni, Prencipe, 2001).
- ii. qu'il existe des interactions fréquentes et très en amont avec les équipementiers en charge du développement des modules.

Ces deux contraintes ne signifient pas que les constructeurs automobiles ne tendent pas vers une logique de modularité mais suggèrent qu'elle ne peut prendre la forme canoniquement représentée par le secteur informatique. Certes, certaines firmes peuvent être tentées d'accroître leur degré d'externalisation mais les contraintes technologiques risquent de se rappeler à elles. De plus, cette « virtualisation » ne peut emprunter la voie de la « main évanescence » pour deux raisons difficilement surmontables.

La première tient au fait que, dans l'hypothèse de modularité pure, les interfaces sont parfaitement spécifiées. Or, dans la décomposition modulaire du secteur automobile, les modules sont eux-mêmes des sous-assemblages de composants et de fonctionnalités connaissant des rythmes de changements technologiques différents. En outre, ces modules (complexes) font appels à des technologies dissemblables. A partir de l'industrie des moteurs d'avions, Brusoni, Prencipe et Pavitt (2001) montrent qu'une architecture modulaire se traduit par une organisation marchande du réseau de fournisseur, si et seulement si, on fait l'hypothèse d'une convergence des taux de changements technologiques entre les différents modules et l'hypothèse que les interactions entre ces derniers sont parfaitement prévisibles. En effet, l'existence d'un différentiel du taux de changement technologique entre les divers modules impose la mise en place d'un coordinateur central possédant les facultés de les appréhender, les traiter et les traduire productivement. De plus, si les interactions entre les modules sont difficilement prévisibles, il est également nécessaire d'introduire un coordinateur centralisant les connaissances architecturales mais également détaillées (modulaires). Si l'intégration verticale n'est pas forcément la solution à privilégier, ceci rend illusoire le recours au marché sous sa forme de « main évanescence » mais requiert des interactions étroites renvoyant plus au registre de la coopération (Richardson, 1972).

Cette argumentation cognitive se renforce lorsqu'on s'interroge sur les conditions matérielles de la production des modules. Si on considère de nouveau le cas des industries électronique et informatique, il est à noter que le volume et le poids des modules s'avèrent relativement faibles par rapport à leur valeur ajoutée. La chaîne logistique peut alors aisément s'étendre sur de longues distances et il est possible de profiter des économies d'échelle liées à la modularité. Néanmoins la généralisation pose problème. Dans des secteurs comme l'automobile ou l'aéronautique, la modularité contribue au renforcement des co-localisations sous la forme de consortium modulaire ou de parc fournisseur (Frigant, Lung, 2002). Ce besoin de proximité spatiale découle simultanément du volume des modules, des contraintes d'une production synchronisée nécessaire à l'utilisation des opportunités de variétés introduites par la modularité mais aussi à un glissement du rôle des fournisseurs vers une relation de service (Salerno, 2001). Le montant des investissements qui en découle pour les équipementiers, notamment lorsqu'il s'agit de suivre à l'international un constructeur, exige en retour l'élaboration de contrats à moyen-long terme. Ceci mine la crédibilité de la menace d'une substitution entre fournisseurs sous-jacente à la « main évanescence ». Ce point se complète par le fait que les délais de réalisation des modules eux-mêmes et des investissements liés génèrent un verrouillage temporel rendant illusoire la recherche permanente du mieux-disant.

Dans de nombreux secteurs, les contraintes productives liées à la réalisation des modules imposent des investissements importants qu'ils soient matériels (nouvelles usines, modifications des processus de production, etc.) ou immatériels (si on considère les coûts de recherche et développement) qui conduisent les fournisseurs à exiger une contractualisation particulièrement complexe grevant le montant des coûts de transaction. Il nous semble en effet que l'hypothèse d'une dé-spécification des actifs supposée induite par la modularité a été tirée un peu trop rapidement et considérée comme inter-sectoriellement valide alors :

- i. qu'elle se heurte aux exemples récents de passage à la modularité dans les secteurs où le produit est particulièrement complexe et les interfaces difficilement standardisables, et donc où des interactions étroites sont toujours nécessaires ;
- ii. qu'elle engendre des contraintes productives nouvelles et des coûts nouveaux qui favorisent l'adoption de formes de coordination bien plus hybrides que marchandes selon la distinction d'O. Williamson (1985).

Ce dernier est d'ailleurs très critique envers les approches plaçant les contraintes technologiques au centre de la réflexion sur les formes organisationnelles des firmes. Dans ses derniers travaux, il met l'accent sur les différences institutionnelles qui peuvent justifier des arrangements organisationnels différenciés selon les contextes (Williamson, 1996).

2.2.2. Contraintes institutionnelles et stratégies des firmes

De même que les industries choisies pour illustrer l'avènement de la firme architecte, sont souvent issues de la « nouvelle économie », les contextes institutionnels considérés renvoient à l'univers anglo-saxon et plus particulièrement au cadre nord-américain. Comme l'énonce clairement T. Sturgeon (2000), les « réseaux clés en main » sont une spécificité de l'informatique des Etats-Unis. Ce référent mérite d'être examiné selon deux angles. Tout d'abord, on peut se demander s'il ne constitue pas une condition nécessaire à l'avènement de la firme architecte. A un second niveau, on peut également se demander si ce n'est pas une condition suffisante : le discours sur la contrainte technologique liée à la modularité devenant alors un prétexte pour justifier de l'externalisation et de la marchandisation croissante des relations interfirmes.

Parmi les facteurs qui contribuent au développement de la main évanescence, R. Langlois (2003) évoque la dimension institutionnelle. Le fonctionnement de la « main évanescence » tire une partie de son efficacité du couple déréglementation/libéralisation qui permet de profiter de la flexibilité des diverses entreprises mobilisées par la firme architecte, en particulier dans le taux d'utilisation des biens d'équipements et donc du travail. On ne peut dissocier les conditions productives liées à l'émergence d'un nouveau modèle organisationnel du contexte institutionnel dans lequel celui-ci se forme (Boyer, 2001). Dans cette perspective, le maintien d'une certaine idiosyncrasie des contextes nationaux ou continentaux contribue à limiter les possibilités d'un transfert point à point de la firme architecte. C'est ainsi que dans l'industrie automobile, les syndicats allemands sont particulièrement attentifs aux modalités du passage à la modularité. En France, une jurisprudence récente renforce les droits des travailleurs sous-traitants détachés dans les usines de leur client. Ces exemples illustrent que l'efficacité de la « main évanescence » est partiellement limitée par le cadre réglementaire et qu'avant d'en transposer uniformément l'efficacité, il convient de tenir compte du contexte dans lequel elle va devoir se déployer. Certains contextes institutionnels constituent des lieux en favorisant l'émergence alors que d'autres offrent un cadre moins accueillant. Il est probable que si transfert il y a, celui-ci procèdera bien plus par hybridation, à l'instar du transfert du modèle japonais d'organisation dans les années quatre-vingt (Boyer *et alii*, 1998), que par imitation.

La probabilité d'une adaptation locale de la modularité est d'autant plus forte que l'on considère l'hétérogénéité des firmes. Dans une perspective évolutionniste, la mise en place d'un nouveau modèle technico-organisationnel suppose un changement radical des routines organisationnelles. Or, les trajectoires des firmes sont inscrites dans ces routines consolidées au cours du temps ce qui explique leur diversité (Nelson, 1991) mais aussi leur difficulté à infléchir leur trajectoire d'évolution (Jullien, 1999). La période d'existence de la grande firme verticalement intégrée a contribué à la constitution de capacités organisationnelles idiosyncrasiques qui tendent à inscrire les firmes dans une certaine trajectoire. Dans cette optique, l'adaptation à un même stimulus technologique (la modularité) risque d'engendrer des réponses plurielles fruits des expériences passées et de la capacité des firmes à intégrer cette nouveauté. Supposer que toutes les firmes calquent le même modèle organisationnel reviendrait à supposer que la puissance du déterminisme technologique parviendrait à transcender les différences inter-organisations. Le passage à la modularité dans l'industrie automobile illustre la diversité des voies empruntées lorsqu'il s'agit de décomposer techniquement les véhicules en modules (Gadde, Jellbo, 2002) ou lorsqu'il s'agit de concevoir l'organisation qui la supporte (Chanaron, 2001).

Une autre source d'hétérogénéité entre les firmes se situe dans le rapport à leur actionnariat. Les travaux sur la *corporate governance* soulignent que les arbitrages dans les modes d'organisation sont en partie, mais de manière croissante, guidés par les exigences des marchés financiers (Lazonick, O'Sullivan, 2000).

L'intérêt de cette réflexion est qu'elle ouvre la voie à une interprétation alternative des facteurs conduisant à la mise en place de la modularité remettant au cœur de la réflexion la stratégie des firmes. Les ratios d'évaluation utilisés par les marchés financiers poussent les entreprises à réduire le montant des actifs immobilisés. La modularité constitue une des modalités visant à rendre variable (la production de modules externalisés) ce qui était autrefois un coût fixe (la production de sous-ensembles en interne). La modularité se présente alors comme un moyen, et non plus une fin au nom d'une efficacité productive absolue, pour s'accorder aux nouvelles exigences de rentabilité imposées par les marchés financiers. En ce sens, loin d'être une véritable rupture technico-organisationnelle, elle participe du mouvement

de recentrage sur les métiers engagé de longue date et qui trouve dans une dimension technique un nouveau souffle (Brusoni, Prencipe, 2001).

Toutefois, là encore, le degré d'implication dans ce mouvement de constitution d'une firme architecte sera probablement divers. Malgré l'affirmation d'une tendance convergente, les rythmes et conditions du passage à la « bonne gouvernance » diffèrent selon les pays et les secteurs (Streek, 2001). Même lorsqu'on raisonne sur un secteur à une échelle continentale (l'automobile et l'Europe en l'occurrence) des différences apparaissent entre entreprises dans la manière d'interpréter et de mettre en oeuvre les principes de la création de valeur pour l'actionnaire (Jürgens *et alii*, 2002). L'adoption de la modularité ne devrait pas échapper à cette adaptation localisée.

Conclusion

La production modulaire fait donc l'objet de deux types d'interprétation. Selon une interprétation forte se dégage l'idée qu'il s'agit d'une rupture radicale contribuant à l'émergence d'un nouveau type de firme évoluant dans une industrie profondément restructurée. C'est ce que nous avons essayé de résumer autour de la notion de firme architecte. Une deuxième interprétation, plus nuancée, souligne que si la modularité implique un profond renouvellement de la firme, le champ des possibles est encore largement ouvert et qu'une hybridation sectorielle et contextuelle est vraisemblable. Notamment pour tenter de s'affranchir des limites internes à la firme architecte.

Cette position critique vis-à-vis de l'avènement de la firme architecte dans l'ensemble des industries d'assemblage recouvre finalement une critique plus générale envers le déterminisme technologique dont est emprunte l'approche en termes de *dominant design*. L'oubli de la stratégie des firmes est patent dans cette approche. Si plusieurs moments de notre argumentation le suggèrent, nous voudrions l'illustrer ici par un dernier exemple.

L'interprétation en termes de rupture postule ainsi que c'est la firme réalisant l'assemblage final (celle sur laquelle nous nous sommes focalisés à escient) qui choisit d'introduire la modularité. Si ce schéma correspond bien à l'exemple d'IBM, il nous semble que les tendances récentes de passage à la modularité montrent que c'est aussi, voire surtout, les fournisseurs qui poussent à la mise en place de ce *design*. Ainsi dans l'industrie automobile, les équipementiers se lancent dans une course à la modularité dont l'enjeu est d'accroître le degré de dépendance des constructeurs : les équipementiers cherchent à concevoir des modules difficilement réinternalisables. C'est alors une causalité allant de l'architecture organisationnelle vers l'architecture produit qui se dessine dans cet exemple (Frigant, Talbot, 2003). Cet exemple suggère que, s'il existe bien un lien entre architecture produit et organisationnelle, il est nécessaire d'approfondir encore les recherches sur ces thèmes. Un enjeu prioritaire est d'accumuler les connaissances sur les formes qu'emprunte le passage à la modularité d'une part en sortant des secteurs électronique et informatique et d'autre part en étudiant comment s'opère la transposition de la modularité dans des contextes institutionnels différenciés.

Références

- Abernathy J., Utterback J. [1978], « Patterns of Industrial Innovation », *Technological Review*, 80, 3-22.
- Baldwin C., Clark K. [2000], *Design Rules: The Power of Modularity*, MIT Press, Cambridge, Mass.
- Becker G.S., Murphy K.M. [1992], « The division of labor, coordination costs, and knowledge », *Quarterly Journal of Economics*, CVII, 4, 1137-1160.
- Boyer R. [2001], « La diversité des institutions d'une croissance tirée par l'information ou la connaissance », in Touffut J-P. (Coord.), *Institutions et croissance*, Albin Michel, Paris, 327-398.
- Boyer R., Charron E., Jürgens U., Tolliday S. [1998], *Between Imitation and Innovation. The Transfer and Hybridization of Productive Models in the International Automobile Industry*, Oxford University Press, Oxford.
- Boyer R., Freyssenet M. [2000], *Les modèles productifs*, La Découverte, Paris.
- Brusoni S., Prencipe A. [2001], « Unpacking the Black Box of Modularity: Technologies, Products and Organizations », *Industrial and Corporate Change*, 10, 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*, 46, 4, 597-621.
- Chanaron J.J. [2001], « Implementing technological and organizational innovations and management of core competencies: lessons from the automotive industry », *International Journal of Automotive Technology and Management*, 1, 1, 128-144.
- Chandler A. [1977], *The Visible Hand: The Managerial Revolution in American Business*, Belknap Press, Cambridge.
- Chesbrough H.W., Teece D.J. [1996], « When is Virtual Virtuous ? Organizing for Innovation », *Harvard Business Review*, 74, 1, 65-73.
- Clark K., Fujimoto T. [1991], *Product development performance: strategy, organization and management in the world auto industry*, Harvard Business School Press, Boston.
- Cohen, W., Levinthal D. [1990], « Absorptive capacity : a new perspective on learning an innovation », *Administrative Science Quarterly*, 35, 1, 128-152.
- Dockès P. [1999], *Pouvoir et Autorité en économie*, Economica, Paris.
- Dolan K., Meredith R. [2001], « Ghost cars, ghost brands », *Forbes Global*, n°9, 04 April.
- Frigant V., Lung Y. [2002], « Geographical Proximity and Supplying Relationships in Modular Production », *International Journal of Urban and Regional Research*, 26, 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.
- Gadde L-E., Jellbo O. [2002], « System sourcing—opportunities and problems », *European Journal of Purchasing & Supply Management*, 8, 43-51.

- Galvin P., Morkel A. [2001], « The Effect of Product Modularity on Industry Structure: The Case of the World Bicycle Industry », *Industry and Innovation*, 8, 1, 31-47.
- Henderson R., Clark K. [1990], « Architectural Innovation: The Reconfiguration of Existing Product Technologies and the Failure of Established Firms », *Administrative Science Quarterly*, 35, 1, 9-30.
- Jullien B. [1999], « Relativiser le statut de la rupture dans la théorie évolutionniste », in Baslé M., Delorme R., Lemoigne J-L., Paulré B. (eds.), *Approches évolutionnistes de la firme et de l'industrie*, L'Harmattan, Paris, 207-228.
- Jürgens U., LUNG Y., VOLPATO G., FRIGANT V. [2002], « The Arrival of Shareholder Value in the European Car Industry – A Case Study Comparison of Four Car Makers », *Competition and Change*, 6, 1, 61-80.
- Kline S.J, Rosenberg N. [1986], « An overview of innovation », in Landau R., Rosenberg N. (eds.), *The positive sum strategy*, Academy of Engineering Press, 275-305.
- Langlois R.N. [2002], « Modularity in technology and organization », *Journal of Economic Behavior and Organization*, 1, 1, 19-37.
- Langlois R.N. [2003], « The Vanishing Hand: the Changing Dynamics of the Industrial Capitalism », *Industrial and Corporate Change*, 12, 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*, 21, 4, 297-313.
- 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*, 26, 4, 767-784.
- Lazonick W., O'Sullivan M. [2000], « Maximizing shareholder value: A new ideology for corporate governance », *Economy and Society*, 29, 1, 13-35.
- Lung Y. [2001], « The Coordination of Competencies and Knowledge: A Critical Issue for Regional Automotive Systems », *International Journal of Automotive Technology and Management*, 1, 1, 108-127.
- McAlinden S.P., Smith B.C., Swiecki B.F. [1999], « The Future of Modular Automotive Systems: Where are the Economic Efficiencies in the Modular Assembly Systems », *Michigan Automotive Partnership, Research Memorandum n°1*, OSAT, University of Michigan, Transport Research Institute.
- Mintzberg H. [1982], *Structure et Dynamique des organisations*, Editions d'Organisation, Paris.
- Nelson R. [1991], « Why do firms differ, and how does it matter? », *Strategic Management Journal*, 12, 64-74.
- Prahalad C., Hamel G. [1990], « The Core Competence of the Corporation », *Harvard Business Review*, May-June, 79-91.
- Richardson G.B. [1972], « The organisation of industry », *Economic Journal*, 82, 883-896.
- Sah R., Stiglitz J.E [1986], « The Architecture of Economic Systems: Hierarchies and Polyarchies », *American Economic Review*, 76, 4, 716-727.

- Sako, M., Murray F. [2000], « Modules in Design, Production and Use: Implications for the Global Automotive Industry », *Paper presented to the 8th GERPISA international colloquium*, Palais du Luxembourg, Paris, 8-10 June.
- Sako M. [2003], « Modularity and Outsourcing: The Nature of Co-evolution of Product Architecture and Organisation Architecture in the Global Automotive Industry », in A. Prencipe, A. Davies and M. Hobday (eds.), *The Business of Systems Integration*, Oxford: Oxford University Press.
- Salerno M. [2001], « The characteristics and the role of modularity in the automotive business », *International Journal of Automotive Technology and Management*, 1, 1, 92-107.
- Sanchez R. [2000], « Modular architectures, knowledge assets and organizational learning: new management processes for product creation », *International Journal Technology Management*, 19, 6, 610-629.
- Sanchez R., Mahoney J.T. [1996], « Modularity, flexibility, and knowledge management in product and organization design », *Strategic Management Journal*, 17, 63-76.
- Simon H. [1962], « The Architecture of Complexity », *Proceedings of the American Philosophical Society*, 106, 6, 467-482.
- Schaefer S. [1999], « Product design partition with complementary components », *Journal of Economic Behavior and Organization*, 38, 311-330.
- Streek W. [2001], « La transformation de l'organisation de l'entreprise en Europe : une vue d'ensemble » in Touffut J-P. (Coord.), *Institutions et croissance*, Albin Michel, Paris, 175-230.
- Sturgeon T. [2000], « Turnkey Production Networks: The Organizational Delinking of Production from Innovation », in Jürgens U. (ed.), *New Product Development and Production Networks*, Springer, Heidelberg, 67-84.
- Sturgeon T. [2002], « Modular production networks: a new American model of industrial organization », *Industrial and Corporate Change*, 11, 3, 451-496.
- Ulrich K. [1995], « The role of product architecture in the manufacturing firm », *Research Policy*, 24, 419-440.
- Utterback J.M., Suarez F [1993], « Innovation, Competition, and Industry Structure », *Research Policy*, 22, 1, 1-21.
- Veloso F., Fixson S. [2001], « Make-Buy Decision in the Auto Industry: New Perspectives on the Role of the Supplier as an Innovator », *Technological Forecasting and Social Change*, 67, 239-257.
- von Hippel E. [1994], « Sticky Information and the Locus of Problem Solving: Implications for Innovation », *Management Science*, 40, 4, 429-439.
- Williamson O. [1985], *The Economic Institutions of Capitalism*, The Free Press, New York.
- Williamson O. [1996], *The Mechanisms of Governance*, Oxford University Press, Oxford.

Cahiers du GRES

Le Groupement de Recherche Economique et Sociales (GRES) réunit deux centres de recherche :

- *IFReDE* (Institut Fédératif de Recherches sur les Dynamiques Economiques), Université Montesquieu-Bordeaux IV
- *LEREPS* (Laboratoire d'Etudes et de Recherche sur l'Economie, les Politiques et les Systèmes Sociaux), Université des Sciences Sociales Toulouse 1

www.gres-so.org

Université Toulouse 1
LEREPS – GRES
Manufacture des Tabacs
21, Allée de Brienne
F - 31 000 Toulouse
France
Tel. : +33-5-61-12-87-07
Fax. : +33-5-61-12-87-08

Université Montesquieu-Bordeaux IV
IFReDE – GRES
Avenue Léon Duguit
F - 33 608 Pessac Cedex
France
Tel. : +33-5-56-84-25-75
Fax. : +33-5-56-84-86-47

Cahiers du GRES (derniers numéros)

- 2003-6 : DUPOUËT Olivier, YILDIZOGLU Murat, *Organizational performance in hierarchies and communities of practice*.
- 2003-7 : LARRUE Philippe, *Lessons learned from the Californian ZEV Mandate: From a “technology-forcing” to a “market-driven” regulation*.
- 2003-8 : CARAYOL Nicolas, ROUX Pascale, *Self-Organizing Innovation Networks: When do Small Worlds Emerge?*
- 2003-9 : BONIN Hubert, *Geopolitics versus business interests: the case of the Siberian gas-pipeline in the 1980s*.
- 2003-10 : LUNG Yannick, *The Changing Geography of the European Automobile System*.
- 2003-11 : BORDENAVE Gérard, *Ford of Europe, 1967-2003*.
- 2003-12 : FILIPPI Maryline, TRIBOULET Pierre, *Modalités d'exercice du pouvoir dans le contrôle mutualiste : Le cas des groupes coopératifs agricoles*.
- 2003-13 : ASSELAIN Jean-Charles, BLANCHETON Bertrand, BORDES Christian, SENEGAS Marc-Alexandre, *La FTPL, les réparations et l'expérience inflationniste des années 1920*.
- 2003-14 : GASCHET Frédéric, GAUSSIER Nathalie, *Ségrégation urbaine et marchés du travail au sein de l'aire urbaine bordelaise: quelle portée pour l'hypothèse de mauvais appariement spatial?*
- 2003-15 : KAMARIANAKIS Yiannis, Le GALLO Julie, *The evolution of regional productivity disparities in the European Union, 1975-2000*.
- 2004-01 : VICENTE Jérôme, *«Balkanisation» des infrastructures de télécommunications et aménagement du territoire*
- 2004-02 : FRIGANT Vincent, *La modularité : un fondement pour les firmes architectes ?*

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