

MODULARITE : L' EMERGENCE DE NOUVELLES COMPETENCES ORGANISATIONNELLES DANS LES INDUSTRIES DE BIENS COMPLEXES ?

Florent Catel

Doctorant LEPII

Jean-Charles Monatéri

Chercheur CNRS LEPII

Résumé :

L'objet de cette communication est de proposer une analyse, centrée sur les compétences, de la dimension organisationnelle du concept de modularité de l'architecture d'un produit complexe. Notre point de départ est constitué par la caractérisation de l'architecture du produit. Il s'agit d'une grille de lecture qui s'impose à nous en permettant la classification des produits sur un continuum allant de modularité totale à intégralité totale. Nous montrons ensuite que les implications organisationnelles du design modulaire d'un produit sont généralement envisagées dans le cadre théorique du corpus « Williamssonien ». Enfin, et c'est la proposition centrale de cette communication, nous suggérons qu'une approche autour des compétences révèle la modularité dans son rôle de mobilisateur et coordinateur de compétences. Plus précisément, Le choix de l'architecture du produit peut influencer l'efficacité avec laquelle la firme combine et articule des ressources toujours plus complexes et diversifiées. Ce choix est donc fondamental dans la structuration des industries de produits complexes.

Mots clés : *produit complexe, architecture modulaire du produit, compétences organisationnelles, organisation productive modulaire.*

Introduction

Les évolutions les plus récentes des technologies se traduisent par une grande complexification des produits, tant par les usages que par les fonctions qu'ils intègrent. La présence, au sein des produits finaux, de technologies toujours plus denses et variées, témoigne de cette complexification. Des secteurs, qui étaient a priori relativement éloignés, sont désormais étroitement imbriqués dans la réalisation de produits finaux complexes. Par exemple, l'électronique et l'automobile sont associées dans le développement de l'électronique embarquée. Les challenges suscités par ce type d'évolutions sont nombreux. Certains sont bien sûr d'ordre technique, d'autres relèvent d'aspects organisationnels.

Une entreprise ne peut généralement pas réaliser le produit dans son intégralité car sa connaissance est limitée et, par ailleurs, pour des raisons de coût, elle ne peut intégrer l'ensemble des compétences requises à la réalisation du produit. Les limites cognitives de l'entreprise soulignent l'importance de sa capacité à articuler et coordonner des compétences variées, détenues par de multiples acteurs. Le caractère incertain des évolutions des marchés et des technologies induit, quant à lui, la nécessité de pouvoir reconfigurer le réseau des ressources en fonction de ces changements. Ces aspects font référence aux compétences organisationnelles des firmes.

Au cours de ces dix dernières années, de nombreuses recherches et études soulignent l'émergence de l'approche modulaire dans la définition d'un produit complexe et dans l'organisation de la production. Les travaux de Sako (2002), Sako et Murray (1999), Fixson (2003), Fixson et Sako (2001) relatifs au secteur automobile, de Galvin et Morkel (2001) dans l'industrie du cycle, de Sturgeon (2002), Langlois et Robertson (1992) pour l'électronique et notamment l'électronique grand public, ou encore les travaux de Langlois et Robertson (op.cit), Garud et Kumaraswamy (1995), Baldwin et Clark (1997), dans l'informatique, soulignent l'ampleur des avancées méthodologiques, conceptuelles et analytiques concernant

la « modularisation » des produits et des procédés. Ils mettent en évidence les enjeux opérationnels et organisationnels du « processus de complexification » (Baldwin et Clark, op.cit). Dans cette démarche, les économistes montrent les implications, sur l'efficacité économique attendue, de la dimension organisationnelle de la modularité.

La modularité est un concept très générique pouvant s'appliquer à une grande diversité de situations. A cet égard, la classification proposée par Baldwin et Clark permet de rendre compte d'une grande variété des applications auxquelles peut donner lieu le concept de modularité (*Modularity in conception, production and use*). Cependant, dans toute sa diversité, cette notion renvoie toujours à l'idée d'une simplification de la réalité par une décomposition claire des systèmes considérés.

Malgré sa renaissance récente, le terme « modularité » est relativement ancien. On peut en effet retrouver des « traces » d'organisation productive modulaire dans les vastes mouvements de standardisations industrielles qu'ont connus les industries automobile et ferroviaire il y a plus d'un siècle. En 1965, ce terme resurgit en tant que modèle d'organisation industrielle permettant de produire une grande variété à faibles coûts (Starr, 1965). Il est ensuite partiellement abandonné (au moins dans la littérature) pour renaître dans les années quatre-vingt dix.

A l'origine, le terme de « modularité » fait référence à une méthodologie renouvelée dans le design des produits complexes. Celle-ci trouve ses fondements théoriques dans les travaux de Simon et Alexander dans les années soixante⁴⁶. Cette méthode consiste à décomposer le produit final en plusieurs sous systèmes pouvant être conçus et réalisés indépendamment. Les travaux d'économistes qui suivront, basés sur des études de secteurs, s'inscrivent dans une problématique visant à relier évolutions technologiques et mutations organisationnelles. Si les spécificités sectorielles sont nettes, il demeure possible de dégager une trame de fond commune à l'étude de « la modularité » : l'ouvrage de Baldwin et Clark, « Design Rules : The power of modularity », en constitue une première synthèse.

Les propositions des économistes (notamment Langlois, Sturgeon, Sanchez et Mahoney) expriment généralement l'idée qu'il existe un *one-to-one mapping* (une analogie) entre architecture du produit et architecture de l'organisation. Tout comme les modules sont indépendants, les tâches à effectuer sur chacun d'eux pourraient être réalisées par des unités travaillant en toute autonomie. La coordination entre ces différentes unités se ferait alors par le simple mécanisme de conformation à une interface standard. Les moindres besoins de coordination managériale et de coopération entre unités, suscités par cette structure de l'information, pourraient alors accélérer la dé-intégration et sonner le glas d'une ère caractérisée par des relations interentreprises fondées sur le simple signal des prix⁴⁷ (Langlois, 2003).

La problématique, se situant autour de la nature la relation entre produit et organisation, peut être résumée par la question suivante: Un produit modulaire entraîne-t-il une organisation modulaire ?

Sans approfondir cette question et entrer dans ce débat, notre objectif est de montrer comment le choix d'une architecture du produit peut affecter les compétences organisationnelles des firmes (c'est-à-dire leurs capacités à mobiliser, coordonner et reconfigurer des ressources

⁴⁶ Plus précisément, Alexander, C. (1964), Notes on the synthesis of form, Harvard University Press, Cambridge.

Et Simon, H. (1962), The architecture of complexity, Proceedings of the American Philosophical Society, 106, pp 467-82.

⁴⁷ Langlois affirme que, dans de nombreux secteurs de l'économie, les relations interentreprises se rapprochent des transactions anonymes et instantanées caractéristiques du marché.

variées), à travers la constitution de véritables architectures industrielles. Alors que la première partie s'attache à présenter l'argumentaire « standard » de la compréhension des relations entre *complex product design*, et *organizational design*, la seconde envisage la notion de modularité comme un concept autour duquel peut être bâtie l'explication des compétences organisationnelles dans les réseaux d'entreprises travaillant autour de produits complexes modulaires.

1 Modularité : De l'architecture du produit à l'architecture des organisations

1.1 L'architecture du produit : un préalable nécessaire

Comme tout système complexe, les produits tendent à s'organiser hiérarchiquement (Simon, 1962). Plus précisément, leurs structures fonctionnelles et physiques forment des hiérarchies. Cela signifie qu'à ces deux niveaux, le produit est composé de sous systèmes, eux-mêmes divisés en sous systèmes... L'architecture se définit alors comme la manière dont les éléments fonctionnels du produit sont reliés à ses composants physiques (Ulrich, 1995). Autrement dit, il s'agit du concept fondamental de structuration du produit (Fixson et Sako, op.cit). Si l'on fait la synthèse des différentes définitions, deux éléments apparaissent comme fondamentaux dans la description d'une architecture produit :

- L'allocation composants/fonctions
- Les caractéristiques des interfaces

1.1.1 Allocation fonctions/composants

L'allocation entre fonctions et composants est dite modulaire lorsqu'à une fonction ne correspond qu'un seul composant physique. L'idée sous-jacente est qu'un système complexe peut être appréhendé plus simplement lorsqu'il est décomposé en plusieurs sous systèmes. La correspondance parfaite entre fonction et élément structurel permet au système de présenter des points de rupture naturels autorisant une décomposition « propre » (c'est-à-dire qui ne « brise » aucune interaction entre composants et fonctions). Les différentes sous parties du système peuvent alors être isolées facilement de sorte que le produit forme un système quasi-décomposable (Simon, op.cit). Si un composant réalise plusieurs fonctions, si plusieurs composants réalisent partiellement une fonction..., l'architecture migre vers plus d'intégralité. Il est difficile de décomposer un tel système en modules sans perte de fonctionnalité car certains liens entre éléments physiques et fonctionnels peuvent être « brisés » lors de la décomposition.

1.1.2 Caractéristiques des interfaces

Les interfaces définissent les caractéristiques relationnelles entre les composants. Elles incarnent des règles qui spécifient la manière dont les composants interagissent. Les interfaces se définissent, d'une part, par le degré d'interdépendance qu'elles engendrent entre les modules qu'elles connectent et, d'autre part, par leur niveau de standardisation⁴⁸. A cet égard,

⁴⁸ En fait, il faudrait être plus précis : Fixson détermine trois caractéristiques des interfaces qui permettent de fixer le niveau d'interdépendance qu'elles entraînent entre les modules qu'elles connectent :

- Leur rôle dans les fonctions du produit (intensité)
- La facilité de déconnexion (réversibilité)
- Le niveau de standardisation

l'architecture est dite modulaire lorsque les interfaces sont parfaitement découplées (c'est-à-dire qu'une modification sur l'un des modules connecté par l'interface n'entraîne pas de changement sur les autres éléments mis en relation par cette interface), et parfaitement standardisées (c'est-à-dire qu'elles acceptent la connexion d'une grande variété de composants). Les caractéristiques des interfaces doivent donc, pour satisfaire à cette seconde condition, spécifier un protocole *input-output* standard. Les paramètres d'entrée et de connexion au système doivent être parfaitement spécifiés, codifiés et partagés, soit au sein de l'entreprise soit au niveau du secteur (input) ; au même titre que la fonction à remplir au sein du système, incluant la nature des interactions avec les autres modules auxquels ils seront connectés (output).

Les produits ainsi constitués forment des systèmes assemblés de manière « lâche » (*loosely coupled systems*), qui peuvent être, reconfigurés aisément et de manière flexible, sans perte de fonctionnalité. A l'opposé, les sous systèmes caractéristiques des produits intégraux présentent des interactions complexes. Chaque composant dispose d'une place spécifique dans le produit dans le but de réaliser un haut niveau de performance. La combinaison de composants réalise une synergie à travers la spécificité que ceux-ci acquièrent au sein d'une configuration particulière (Schilling, 2001). L'impossibilité de déplacer les composants sans perte de fonctionnalité ou nécessité d'une recomposition totale est capturée par l'expression « *tightly coupled systems* ».

Selon ces deux caractéristiques (interfaces et allocation fonctions/composants), les produits se situent sur un continuum représentant différents niveaux de modularité⁴⁹.

1.1.3 L'architecture produit modulaire : une partition des paramètres de réalisation du produit

L'éclairage apporté par Baldwin et Clark sur les règles de conception souligne l'importance des interdépendances entre modules. Dans une approche modulaire, les interfaces servent à limiter les interactions entre composants physiques. Chaque module est caractérisé d'une part, par une information spécifique, sans lien avec celle incarnée dans les autres modules, et d'autre part, par des règles qui définissent sa place, son rôle et ses modalités d'interactions au sein du système (interfaces, architecture et standards, selon les termes de Baldwin et Clark). Ces dernières sont désignées par l'expression « règles de conception visibles ». Il s'ensuit qu'il est possible de décomposer l'ensemble informationnel incarné dans le produit selon les deux catégories précédemment citées. Les informations « cachées⁵⁰ », correspondant aux paramètres de réalisation spécifiques à chaque module, ne présentent pas la nécessité d'être transmises à tous les participants au projet. Les informations « visibles » représentent les décisions qui affectent l'architecture globale du produit, et seront partagées par l'ensemble des membres du projet.

Les économistes montrent ensuite que le choix de l'architecture du produit dépend de l'objectif recherché par la firme. Si l'entreprise souhaite maximiser la performance du produit, il est probable qu'elles aient recours à une architecture intégrale. Si les notions de compatibilité, différenciation, évolutivité, extensions... sont importantes au regard de la stratégie produit de la firme, alors celle-ci optera plus certainement pour un design

⁴⁹ En fait, il existe 3 types d'architectures modulaires, selon Ulrich : *a slot architecture*, *a bus architecture*, *a sectional architecture* (voir Ulrich, op.cit)

⁵⁰ Proviens du concept d'*hidden information* introduit par D.L Parnas (1972) qui exprime l'idée selon laquelle un programmeur est plus efficace s'il est protégé, plutôt qu'exposé, aux détails de la construction des pièces d'un système autres que les siennes.

modulaire ; Celui-ci faisant de la production une simple affaire de combinaison et d'assemblage de modules (*mix and match*).

Cependant, les études empiriques menées dans les secteurs de l'automobile et de l'informatique (fixson et Sako, op.cit) montrent qu'une architecture parfaitement modulaire est à comprendre comme un idéal type. En effet, l'ordinateur, pourtant souvent cité comme l'archétype du produit modulaire, ne l'est que partiellement. En fait, c'est surtout son utilisation par le consommateur final qui peut être modulaire. Dans la réalité, les produits sont plus ou moins modulaires. Cependant, on admettra qu'il est possible aux entreprises, pour des produits complexes, de faire un effort vers plus ou moins de modularité.

La vision de Baldwin et Clark rend compte peut-être plus explicitement des enjeux organisationnels liés à un design produit modulaire. En effet, le cloisonnement de l'information spécifique au module signifie qu'une fois que les « règles de conceptions visibles » sont définies et figées, alors chaque unité peut travailler de manière parfaitement autonome et indépendante avec le seul souci de spécifier des interfaces compatibles avec les caractéristiques définies dans les « règles de conception visibles ».

1.2 L'organisation comme produit de l'architecture du bien : une approche en termes de coûts de transactions

Il est généralement avancé que l'architecture du produit et l'architecture de l'organisation tendent à se refléter. Après avoir défini et discuté l'idée selon laquelle émerge un modèle d'organisation productive modulaire, nous nous attacherons à montrer que le raisonnement à l'origine de cette proposition est implicitement bâti sur une approche en termes de coûts de transactions.

1.2.1 Vers l'émergence de formes d'organisations modulaires ?

Tout comme l'ensemble des composants représente un système produit, l'ensemble des firmes qui fabriquent ces composants forment un système organisationnel.

L'idée de processus de production modulaire signifie que les paramètres de chaque élément du procédé, nécessaires à la réalisation du produit final complexe, peuvent être déterminés indépendamment les uns des autres (Fujimoto, 2002). Lorsque le produit final est fabriqué par différents acteurs, l'organisation est dite « modulaire », si chaque unité organisationnelle peut travailler en toute indépendance sur les paramètres, spécifiés ex ante par une autre entreprise, d'un sous-système du produit.

Une organisation modulaire comprendrait ainsi :

- L'architecte (l'assembleur, l'Original Equipment Manufacturer (OEM) dans l'industrie automobile, par exemple) qui définit les règles de conception visibles.
- Des modules organisationnels qui sont les fournisseurs et qui travaillent indépendamment selon les paramètres intrinsèques du module dont ils ont la charge.
- Des interfaces organisationnelles constituées par les procédures d'échanges d'informations.

Ainsi pourrait-on parler d'une modularité de la chaîne de valeur (Fine, 1998). Référence est faite à de vastes architectures industrielles, constituées d'unités « lâchement »⁵¹ assemblées (*loosely coupled*). Par analogie avec l'architecture modulaire du produit, une chaîne de valeur modulaire permet la substitution et la recombinaison rapide des modules organisationnels, dans le but de créer un processus pouvant réaliser différentes fonctionnalités et différents niveaux de performances.

⁵¹ Cela signifie que ces unités interagissent très peu.

Ces architectures industrielles forment une constellation d'acteurs opérant sur une « toile de valeur », de manière parallèle et distribuée, par opposition à des acteurs évoluant de façon séquentielle sur une chaîne de valeur traditionnelle verticale. Langlois et Robertson parlent de réseaux décentralisés par opposition à des réseaux centralisés, coordonnés par une firme focale (Langlois et Robertson, op.cit). Ici, aucune coopération entre les membres n'est nécessaire et de simples relations de marché peuvent suffire. Le rétablissement du pouvoir incitatif du marché ainsi que la spécialisation approfondie seraient alors les avantages majeurs d'une organisation en « réseau modulaire » (Sturgeon, op.cit).

L'industrie électronique américaine telle qu'elle est décrite par Sturgeon semble correspondre à ce type d'organisation. La présence de fournisseurs indépendants dont les clients sont parfois concurrents, et qui travaillent autour de normes industrielles attesterait d'un certain degré de modularité. De la même manière, Langlois explique les mutations organisationnelles de l'industrie informatique américaine par un mouvement vers une grande « modularisation » des ordinateurs.

Les critiques adressées à cet argumentaire posent la question de l'existence réelle de telles organisations et la pertinence d'une éventuelle généralisation. Si Schilling et Steensma montrent que la présence de standards industriels conduit à une organisation de l'industrie modulaire (Schilling et Steensma, 2001), Brusoni et Prencipe notent qu'une architecture produit modulaire requiert, en pratique, des unités organisationnelles fortement interactives. En particulier, la présence d'un intégrateur qui coordonne, orchestre et intègre les différents outputs semble inévitable (Brusoni et Prencipe, 2001). Hsuan précise que les entreprises produisant des biens modulaires restent étonnamment fermées et intégrées (Hsuan, 1999). Dans le secteur de l'automobile, l'organisation de plateaux de conception, impliquant une discussion entre partenaires, indique que des interactions existent entre les fournisseurs de modules et le prescripteur des règles de conception. En fait, ces exemples tendent à montrer que, comme pour l'architecture du produit, une organisation purement modulaire est à comprendre comme un idéal type.

1.2.2 La modularité comme vecteur de dé-intégration verticale : une analyse centrée sur une réduction du coût des transactions du marché

Nous nous plaçons dans le contexte de la réalisation d'un produit final complexe dont la production nécessite plusieurs étapes complémentaires. L'idée selon laquelle des activités hautement interdépendantes devraient être réalisées au sein d'une unité organisationnelle unique est ancienne. Deux activités sont dites interdépendantes lorsque la valeur retirée d'une activité dépend de la manière dont est réalisée l'autre. Dans les termes de l'économie des coûts de transactions, ces activités peuvent être considérées comme co-spécifiques (l'une sans l'autre n'aurait aucune valeur), nécessitant une fréquence élevée de transactions. L'incertitude caractérise l'environnement dans lequel sont réalisées ces transactions. Les probabilités d'opportunisme, liées à la co-spécificité des actifs, augmente le risque supporté par les contractants. La coordination nécessaire pour effectuer de telles activités se traduit par une forte croissance des coûts de transactions. Comme le suggère la typologie de Williamson ces activités, n'étant pas effectuées dans le cadre du marché, seront réalisées au sein d'une firme à travers une coordination managériale (Williamson, 1975).

De la même manière, la complexité des produits et des processus (comprise au sens d'une multiplication des interactions entre les unités) accroît le besoin de coordination entre acteurs. Lorsqu'il y a un nombre limité de produits et qu'ils sont standardisés, une coordination par le marché peut suffire. Mais, dès lors que la complexité augmente, les coûts de transactions liés à ce type de coordination deviennent prohibitifs (Augier et Simon, 2003). Imaginons la conception d'un système formé de deux composants. Si la conception qui est la plus efficace

pour chaque composant est indépendante de la conception de l'autre composant, des designers indépendants peuvent concevoir chacun un composant. Ces deux composants seront ensuite assemblés pour obtenir l'élément final. Si, au contraire, l'efficacité de chaque composant dépend de la conception de l'autre, la coordination marchande n'est plus efficace et la réalisation du système final serait plus efficace au sein d'une organisation (Thompson, 1967). La modularité interroge l'approche de l'économie des coûts de transactions en modifiant les besoins de coordination des activités. Les interfaces sont spécifiées de manière à limiter la quantité d'informations devant être échangée. Elles permettent «l'encapsulation» des paramètres de réalisation spécifiques d'un module et encouragent le partage des règles de conception globales. Cette structure informationnelle serait à l'origine de *l'embedded coordination* (Sanchez et Mahoney, 1996). Ce concept, selon lequel la seule spécification de standards industriels suffirait à coordonner l'ensemble des acteurs du secteur, annulerait tout besoin de coordination managériale entre deux activités. Chacun pourrait alors travailler indépendamment sur le module dont il a la charge tout en ayant confiance sur le fait que le produit global fonctionne comme un tout cohérent.

Cette proposition conduit à l'hypothèse d'un approfondissement de la division du travail. Plus précisément, les entreprises seraient en mesure de confier, la réalisation des modules à des tiers, pour profiter des avantages bien connus de la spécialisation. La spécificité des actifs soulève des questions de coordination particulières, liées à l'opportunisme. En effet, si une entreprise charge une autre firme de la production d'un composant spécifique, elle risque de faire face à un comportement opportuniste du co-contractant. Comme le note Kindleberger la standardisation joue un rôle essentiel dans la réduction de la spécificité des actifs (Kindleberger, 1983). Cependant, les impératifs de variété et de différenciation ne permettent plus aux entreprises de standardiser les produits comme elles pouvaient le faire en période de stabilité. Ce ne sont donc plus les produits eux-mêmes qui sont standardisés mais «les règles du jeu» (les règles de conception visibles). Celles-ci délimitent les contours des libertés dont chaque composant peut jouir et autorisent quiconque se situe dans cet espace à «laisser libre cours à son imagination». La spécification précise des frontières de cet espace (les caractéristiques de l'interface) permet une extension du marché de ces composants, au point de les rendre accessibles facilement et rapidement en cas d'attitude opportuniste de l'un des contractants. La réduction de la spécificité des actifs et du risque d'opportunisme favoriserait le recours à l'externalisation des activités et donc la dé-intégration verticale. Le rétablissement des relations de marché serait alors doublement bénéfique pour l'entreprise. D'une part, il rétablirait les incitations liées à la pression concurrentielle et d'autre part il constituerait un puissant facteur de flexibilité en supprimant le risque d'une relation d'engagement envers un fournisseur. De plus, l'utilisation massive des NTIC améliore la transparence de l'information et facilite les connexions entre entreprises. Pour Sanchez, elles constituent des «interfaces électroniques de connexions rapides» (Sanchez, 1995).

Même si les entreprises travaillant autour de produits modulaires ne forment pas systématiquement des organisations modulaires (comme nous les avons décrites dans la section précédente), cette analyse conduit à envisager la modularité comme l'une des lignes explicatives de la constitution de réseaux d'entreprises dans les industries de biens complexes.

2. Une Approche du concept de modularité centrée sur les compétences : l'importance de la mobilisation des ressources dans les industries de biens complexes

Il a déjà été remarqué à de nombreuses reprises que l'explication des formes d'organisations par le seul critère des coûts de transactions présente des limites. L'autre grand courant s'intéressant aux frontières de l'entreprise, l'économie des compétences, est très rarement utilisé dans la littérature sur la modularité. Nous pensons que sa mobilisation permettrait

d'apporter des éléments nouveaux dans la compréhension des liens entre produits complexes modulaires et organisations. Le point de départ de cette section pourrait être résumé par la question suivante : Comment expliquer, à la lumière du concept de modularité, l'organisation résiliaire des activités dans les industries de biens complexes ? Si l'approche de l'économie des coûts de transactions met en avant l'importance de la réduction des coûts de l'accès au marché, liée à la modularité, dans les mouvements de dé-intégration verticale, l'approche en terme de compétences permet de souligner l'importance du rôle de la modularité comme vecteur de mobilisation de nouvelles compétences, dans la constitution d'architectures industrielles. Nous suggérons que les compétences organisationnelles qui émergent dans les industries travaillant autour de produits modulaires sont essentielles dans la construction et la mise en œuvre d'activités complémentaires.

2.1 Modularité, compétences et frontières de l'entreprise

Faire de la transaction le centre de l'analyse conduit à négliger la sphère de la production. Or, la complexification des technologies de produit et de procédé et les problèmes qu'elle induit pour l'entreprise amène, au contraire, à affirmer l'importance de la dimension productive. Selon une perspective stratégique des compétences, les entreprises sont amenées à se concentrer sur un nombre limité de compétences pour lesquelles elles disposent d'un avantage sur leurs concurrents, ce sont les *core competencies* (Prahalad et Hamel, 1990). Les compétences majeures de la firme déterminent le champ des activités couvertes par l'entreprise. Par conséquent les firmes sont supposées disposer d'un éventail d'activités très proches les unes des autres au niveau des compétences qu'elles requièrent (Teece et al, 1994). Cependant, la conception et la production d'un bien complexe implique de mettre en œuvre des activités faisant appel à des compétences complémentaires et non semblables. La perspective stratégique des compétences invite à s'interroger sur la nature de l'organisation de telles activités. Il reviendra principalement à Richardson (Richardson, 1972) d'offrir un cadre conceptuel destiné à répondre à ce type de question. Selon lui, les différentes étapes d'un processus de production nécessitent, en effet, plusieurs activités qui sont à la fois dissemblables et complémentaires. Comme les activités sont dissemblables, elles ne peuvent pas être gérées par une seule entreprise. Et, elles ne peuvent pas être abandonnées au marché parce qu'elles sont complémentaires. Ce type d'activités requiert une harmonisation des plans des firmes, et donc une coordination *ex ante* qui échappe au marché et à la firme. Ces activités seront donc organisées par des unités organisationnelles différentes dont la coordination est assurée par la coopération étroite entre celles-ci.

Il nous semble, cependant, que cette approche omet l'importance du choix dans le design du produit. En effet, le degré de complémentarité des activités dans le processus de conception et de production dépend pour beaucoup du design de l'architecture du produit. Une architecture intégrale implique l'existence d'interdépendances entre les étapes du processus. Celles-ci résultent de la non spécification précise des interfaces et de la correspondance complexe entre fonctions et composants. Les frontières des activités ne peuvent être précisément fixées et la gestion ne pourra être effectuée que grâce à une coordination explicite basée sur la communication et la direction. Dans une approche modulaire au contraire, la spécification précise des interfaces et la correspondance parfaite entre élément physique et fonctionnel permet une structuration claire des activités. Ainsi, si une entreprise n'a pas réussi à développer une architecture suffisamment modulaire, il est possible qu'elle échoue dans sa volonté de mobiliser les compétences externes d'un spécialiste. En effet, l'entreprise qui ne travaille pas sur une architecture modulaire peut être incapable de spécifier précisément les

caractéristiques du composant qu'elle attend, et donc des difficultés peuvent subvenir dans l'implication du fournisseur⁵².

2.2 L'émergence de la modularité comme compétence organisationnelle

Les entreprises, ne pouvant réaliser un produit complexe seules, sont donc mises au défi de mobiliser et coordonner efficacement des ressources détenues par divers acteurs. Malgré les éclairages apportés par Richardson, la coordination d'un système aussi diversifié ne va pas de soi. Un degré insuffisant de modularité dans l'architecture et la cohérence du système produit est remise en cause. Dans cette section nous suggérons que la modularité peut être un moyen efficace pour les entreprises de mobiliser de nouvelles compétences et donc de se constituer en une organisation spécifique.

2.2.1 Définir les compétences organisationnelles

Tout d'abord, il convient de préciser ce que nous entendons précisément par l'expression compétence organisationnelle. La notion de compétence est basée sur l'idée qu'il n'y a aucune productivité associée aux facteurs physiques à moins que ceux-ci ne soient coordonnés et articulés par les hommes (Penrose, 1959). Cela étant, il y a, derrière le concept général des compétences, beaucoup plus que les simples compétences individuelles. L'idée de base est que la compétence d'une entreprise ne se réduit pas à la simple agrégation des compétences des membres qui la composent. Le travail en équipe (au sein et entre les organisations) conduit, en effet, à la création de nouvelles compétences. Celles-ci naissent des interactions spécifiques entre les individus, des habitudes de travail, des procédures de résolutions de problèmes... Ces compétences ne relèvent ainsi plus des individus mais des organisations. De plus, en intégrant des aspects humains et organisationnels, elles vont au-delà des simples compétences technologiques. Chandler définit également des compétences qui relèvent de l'organisation. Il y intègre, la manière dont sont coordonnées et organisées au sein de l'entreprise, les ressources physiques et humaines (Chandler, 1990).

Les travaux de Teece et Pisano, autour du concept de «compétences dynamiques», viennent enrichir la définition, dans la mesure où ils soulignent, d'une part l'importance du jeu entre ressources internes et externes, et d'autre part, l'aspect temporel, notamment dans la distinction entre principe d'allocation de ressources et principe de création de ressources (Teece et Pisano, 1994). La compétence de la firme correspond alors à la capacité de l'entreprise à construire, intégrer et reconfigurer des ressources diverses pour s'adapter à un environnement changeant.

En nous appuyant sur les travaux de Sanchez (Sanchez, op.cit) et l'importance qu'il accorde à la capacité de mobilisation de ressources variées par une firme, nous envisagerons les compétences organisationnelles comme l'efficacité d'une entreprise dans le déploiement et la coordination de ressources diverses.

2.2.2 Les compétences organisationnelles dans les industries de biens complexes : un concept fondamental dans la structuration des industries

Les ressources disponibles pour une entreprise incluent ses ressources internes, des «ressources relationnelles» contrôlées par d'autres entreprises, et des ressources de marché. L'un des aspects importants dans le choix des ressources et la manière de les mettre en œuvre

⁵² Il est évident, mais cela n'est pas notre objet, que la modularité a des implications en termes de logiques spatiales de l'organisation de la production. Les *supplier parks*, caractéristiques de l'industrie automobile, en attestent.

réside dans la cohérence des éléments « productifs » (ressources et organisation) avec la stratégie produit de la firme. Autrement dit, le degré de cohérence entre les sphères du marché et de la production dans lesquelles évolue l'entreprise, représente un facteur de performance déterminant à nos yeux. Par exemple, si l'entreprise envisage de lancer plusieurs générations du produit ou plusieurs modèles d'un même produit, elle sera probablement amenée à organiser son approvisionnement de manière tout à fait spécifique. La contrainte de variété doit donc être prise en compte côté production et les structures organisationnelles doivent supporter la stratégie produit de la firme.

La variété de ressources disponibles, ainsi que leur facilité d'accès, augmentent avec la capacité de l'entreprise à utiliser une architecture produit modulaire pour coordonner un réseau étendu de ressources productives. Dans le cadre d'une organisation modulaire, toutes les ressources participant au processus de création du produit peuvent être mobilisées de manière parallèle et autonome. Lorsque les interfaces entre composants sont parfaitement spécifiées et standardisées à l'échelle du secteur⁵³, un réseau modulaire autorise de nombreux points d'accès à des fournisseurs extérieurs. La baisse des barrières techniques à l'entrée entraîne une intensification de la concurrence sur les modules. Celle-ci rétablit des incitations et permet à l'assembleur de choisir parmi un grand nombre de modules. Par ailleurs, la multiplication des composants modulaires différenciés disponibles permet à la firme de modifier rapidement la configuration finale de ses produits en fonction de la demande du marché. En outre, cette approche remet en question l'aspect séquentiel de l'organisation d'activités complémentaires. En effet, l'activité de chacun ne dépend plus, dans ce contexte, de celle des autres, car chaque firme connaît ex ante les spécifications, contenues dans l'output des autres, qui seront utiles pour son propre rôle dans le processus de production. Il en résulte que le processus de mobilisation des ressources peut devenir moins bng plus flexible.

Partageant ce point de vue, Baldwin et Clark affirment que « ...dans une industrie modulaire, le succès d'une entreprise dépend de sa capacité à organiser son activité de manière flexible à l'échelle non seulement de l'entreprise mais également de l'industrie dans son ensemble (...) elle doit pouvoir à tout moment lier ses compétences avec d'autres » (Baldwin et Clark, op.cit).

Cette hypothèse semble particulièrement confirmée dans les industries produisant des biens complexes qui évoluent dans le temps et qui nécessitent l'utilisation de nombreux produits complémentaires⁵⁴. La performance du système dépend alors, non seulement de la nature des composants, mais aussi du niveau de compatibilité mutuelle dont ils disposent. Dans ce type d'industrie, dont l'archétype est l'industrie informatique, l'étendue de la « zone de compatibilité » est déterminée par le niveau d'ouverture de l'architecture.

Dans ces industries, lorsque les entreprises protègent l'accès à leurs connaissances techniques, elles créent des réseaux fermés. La concurrence a lieu au niveau du système (sur un seul produit intégré), et non au niveau des composants et des produits complémentaires. Par opposition, dans les industries caractérisées par des réseaux ouverts, les entreprises autorisent

⁵³ Ulrich distingue standardisation interne et standardisation externe. L'une intervient dans une seule firme et l'autre correspond à une situation où le standard est partagé par différentes entreprises.

⁵⁴ Par contre, pour des produits voués à être stable au niveau technologique et ne permettant pas l'utilisation de nombreux produits complémentaires, partager sa connaissance conduirait tout simplement à l'ouverture du marché à de nouveaux concurrents, érodant la position initiale de la firme.

l'accès à leurs connaissances et ouvrent le champ concurrentiel des produits complémentaires et des composants.

Si cette proposition est motivée par la capacité de la firme à spécifier précisément ce qu'elle attend du fournisseur, elle l'est également par le processus d'apprentissage sous-jacent. Travailler sur une architecture modulaire permet en effet de distinguer clairement connaissances architecturales et connaissances du composant. L'architecture modulaire d'un produit autorise, en effet, un apprentissage modulaire au niveau du composant (c'est à dire des savoirs sur les fonctions qu'il réalise), en isolant chaque sous partie de l'architecture et donc en éliminant l'effet systémique du changement. Les économies d'apprentissages qui émergent du fait de la réutilisation des composants sur différentes plates-formes permettent aux fournisseurs de proposer des composants toujours plus performants et fiables.

Les connaissances architecturales concernent la manière dont les composants interagissent et fonctionnent entre eux. La connaissance précise des interdépendances entre les éléments du système sous-tend la capacité de la firme d'intégrer et de coordonner efficacement différents répertoires de compétences, représentant la production de composants hétérogènes. Un manque de compétences architecturales peut alors tout simplement remettre en question la cohérence du produit final. Le processus d'apprentissage qui sous tend l'adoption d'une architecture de produit modulaire détermine donc, en partie, l'efficacité avec laquelle une firme peut mobiliser des compétences différentes et les restituer de manière cohérente.

Conclusion

Dans cette communication, nous avons montré que, même si des produits ou des organisations purement modulaires n'ont que peu d'intérêt en pratique, les implications liés à un design partiellement modulaire sont grandes. Parmi le nombre important de ces implications nous avons choisi de nous intéresser aux conséquences sur l'organisation et la coordination des compétences nécessaires à la conception et la réalisation d'un produit complexe. En soulignant les limites des approches traditionnelles basées sur l'économie des coûts de transactions, nous avons montré l'importance de la modularité comme vecteur de mobilisation de compétences dans la structuration de l'industrie. Plus précisément il semble qu'un mauvais choix dans le degré de modularité de l'architecture du produit puisse compromettre la capacité de l'entreprise à faire appel à des ressources variées, qu'elles soient de nature relationnelle ou de marché.

Cependant, l'introduction de la dynamique temporelle dans l'analyse pose certaines questions. En effet, le processus d'adoption de standards peut lui-même requérir des interactions complexes entre plusieurs acteurs, tant il semble improbable que la firme «architecte» puisse détenir l'ensemble de compétences nécessaires à la détermination de ces standards. De plus, quand l'incertitude est forte, il peut être impossible pour une entreprise de figer complètement les caractéristiques des interfaces. Des ajustements mutuels sont dans ce cas nécessaires et la coopération requise entre les membres rendra ce système moins flexible, plus long et plus coûteux.

Si dans un système modulaire la majorité des innovations sont ciblées sur les composants et ne remettent pas en question l'architecture générale du produit (Langlois et Robertson, 1992), certaines sont d'ordre architecturale, c'est-à-dire qu'elles ont des conséquences sur tous les sous-systèmes et nécessitent un changement des règles de conception visibles (Henderson et Clark, 1990). Celles-ci requièrent donc des interactions entre les acteurs impliqués et peuvent, en conséquence, retarder l'adoption de l'innovation et remettre en cause la cohérence du système.

Références bibliographiques

- Alexander, C. (1964), *Notes on the synthesis of form*, Harvard University Press, Cambridge.
- Augier, M. et Simon, H. (2003), commentaires sur «The Architecture of complexity», in Garud, R., Kumaraswamy, A. et Langlois, R.N., *Managing in the modular age*, Blackwell Publishing, Oxford, pp38-44
- Baldwin, C.Y. et Clark, K.B. (1997), *Managing in an age of modularity*, Harvard Business Review, in Garud, R., Kumaraswamy, A. et Langlois, R.N., *Managing in the modular age* (2003), Blackwell Publishing, Oxford, pp149-161
- Baldwin, C.Y. et Clark, K.B. (2000), *Design rules : the power of modularity*, Cambridge, Massachusetts, MIT Press.
- Brusoni, S. Et Prencipe, A. (2001), *Unpacking the black box of modularity : technologies, products and organizations*, *Industrial and Corporate Change*, 10(1), pp179-205
- Chandler, A. (1990), *Scale and scope: the dynamics of industrial capitalism*, The belknap press of Harvard University Press.
- Fine, C.H. (1998), *Clockspeed: winning industry control in the age of temporary advantage*, Perseus Books Reading, Massachussets.
- Fixson, S. (2003), *Product architecture: a strategic decision variable linking product, process and supply chain*, working paper.
- Fixson, S. et Sako, M. (2001), *Modularity in product architecture : will the auto industry follow the computer industry ?*, presented at the fall meeting, IMVP, Cambridge, USA.
- Fujimoto, T. (2002), *Architecture, capability and competitiveness of firms and industries*, 5ème conférence, “organizational innovation within firms”, The Saint-Gobain Center for Economic Research, 7-8 Novembre.
- Galvin, P. Et Morkel, A. (2001), *The effect of product modularity on industry structure: the case of the world bicycle industry*, *Industry and innovation*, 1, pp31-47
- Garud, R. et Kumaraswamy (1993), *Changing competitive dynamics in network industries: An exploration of Sun Microsystem open strategy*, *Strategic Management Journal*, 14, pp351-369
- Garud, R. et Kumaraswamy, A. (1995), *Technological and organizational designs to achieve economies of substitution*, *Strategic Management Journal*, in Garud, R., Kumaraswamy, A. et Langlois, R.N., *Managing in the modular age* (2003), Blackwell Publishing, Oxford pp45-68
- Henderson, R. et Clark, K.B (1990), *Architectural innovation : the reconfiguration of existing product technologies and the failure of established firms*, *Administrative Science Quaterly*, 35, pp9-30
- Hsuan, J. (1999), *Impacts of supplier-buyer relationships on modularization in new product development*, *European Journal of Purchasing ans Supply Management*, 5, pp197-209
- Kindleberger, C.P (1983), *Standards as public, collective and private goods*, *Kyklos*, 36(3), pp377-396
- Langlois, R.N. (2003), *The vanishing hand : the changing dynamics of industrial capitalism*, *Industrial and corporate change*, 12, pp 351-385
- Langlois, R.N. et Robertson, P.L. (1992), *Networks and innovation in a modular system : lessons from the microcomputer and stereo components industries*, *Research Policy*, in

- Garud, R., Kumaraswamy, A. et Langlois, R.N., *Managing in the modular age* (2003), Blackwell Publishing, Oxford, pp78-100
- Mahoney, J.T. et Sanchez, R. (1996), *Modularity, flexibility and knowledge management in product and organization design*, *Strategic Management Journal*, in Garud, R., Kumaraswamy, A. et Langlois, R.N., *Managing in the modular age* (2003), Blackwell Publishing, Oxford, pp362-380
- Murray, F. et Sako, M. (1999), *Modules in design, production and use: implications for the global automotive industry*, papier présenté au meeting de l'IMVP (International Motor Vehicle Program), Octobre 5-7, Cambridge, Massachusetts, Etats-Unis.
- Penrose, E.T (1959), *The theory of the growth of the firm*, Oxford, Basil Blackwell.
- Prahalad, C.K et Hamel, G. (1990), *the core competence of the corporation*, *Harvard Business Review*, mai-juin, pp79-91
- Richardson, G.B (1972), *The organization of industry*, *Economic Journal*, 84, pp883-896
- Sako, M. (2002), *modularity and outsourcing: the nature of co-evolution of product architecture and organization architecture in the global automotive industry*, paper prepared for the book, *The business of systems integration* edited by Prencipe, A. et al., to be published.
- Sanchez, R. (1995), *Strategic flexibility in product competition*, *Strategic Management Journal*, 16, p135-159
- Schilling, M.A. (2000), *Toward a general systems theory and its application to interfirm product modularity*, *Academy of Management Review*, in Garud, R., Kumaraswamy, A. et Langlois, R.N., *Managing in the modular age* (2003), Blackwell Publishing, Oxford, pp172-202
- Schilling, M.A et Steensma, H.K. (2001), *The use of modular organizational forms: an industry level analysis*, *Academy of Management Journal*, 44(6), pp1149-1168
- Simon, H. (1962), *The architecture of complexity*, *Proceedings of the American Philosophical Society*, in Garud, R., Kumaraswamy, A. et Langlois, R.N., *Managing in the modular age* (2003), Blackwell Publishing, Oxford, pp15-38
- Starr, M.K. (1965), *Modular production: a new concept*, *Harvard Business Review*, 43 (Novembre décembre), pp131-142
- Sturgeon, T. (2002), *Modular production networks: a new american model of industrial organization*, *Industrial and Corporate Change*, volume 11, numéro 3, pp 451-496
- Teece, D.J et al. (1994), *Understanding corporate coherence*, *Journal of economic behaviour and organization*, 23, pp1-30
- Tecce, D.J et Pisano, G. (1994), *The dynamic capabilities of firms: an introduction*, *Industrial and corporate change*, 3, pp537-556
- Thompson, J.D (1967), *Organizations in action*, Mc Graw Hill, New York.
- Ulrich, K. (1995), *The role of product architecture in the manufacturing firm*, *Research Policy*, in Garud, R., Kumaraswamy, A. et Langlois, R.N., *Managing in the modular age* (2003), Blackwell Publishing, Oxford, pp117-146
- Williamson, O. (1975), *Markets and hierarchies*, Free Press, New York.

Tel : 04.76.82.54.25

Florent.catel@upmf-grenoble.fr

Tel:04.76.82.54.42

jean-charles.monateri@upmf-grenoble.fr

LEPII CNRS (Laboratoire d'économie de la production et de l'intégration internationale)

Université Pierre Mendès-France, Grenoble II

Rue des Résidences BP 47X Grenoble cedex 09