



Stratégie **modulaire** dans la **conception**

Une interprétation en termes de communautés*

Cet article explore les enjeux sous-jacents au choix d'une stratégie modulaire dans l'organisation d'un processus de conception de produit. Appréhendant ce processus comme un réseau de communautés hétérogènes, cette perspective a conduit les auteurs à focaliser leur attention non seulement sur la dimension organisationnelle, mais aussi cognitive de la modularité. Ils définissent quatre configurations de processus de conception. Cette typologie permet de remettre en perspective les travaux de Sanchez et Mahoney (1996) en suggérant l'existence d'une configuration modulaire qui n'avait pas été envisagée par ces auteurs.

Dans les secteurs où la réactivité constitue un facteur-clé de succès, de nombreuses entreprises sont à la recherche de dispositifs techniques et organisationnels leur permettant d'améliorer la conception de leurs nouveaux produits, en cherchant notamment à réduire les temps de conception. Un intérêt considérable s'est ainsi porté dans les années récentes sur la conception « modulaire » qui a trouvé ses premières applications dans les secteurs de l'informatique, de l'automobile et de l'aéronautique. Cette orientation stratégique dont l'objectif est de réduire simultanément la complexité, les temps et les coûts de fabrication, puise ses fondements théoriques dans les perspectives tracées dès 1962 par Herbert Simon. Depuis, les analyses de la modularité se sont affinées pour révéler de nouvelles significations de plus en plus riches. 1) À l'origine, la modularité a été présentée comme une stratégie de conception du « produit » visant à définir un ensemble standardisé d'interfaces (supposées ne pas changer durant un certain temps) entre des composants alloués chacun à une fonction particulière (la spécifica-

*Ce travail de recherche a été effectué dans le cadre du programme « Temps des produits, dynamique de firmes et trajectoire des individus : les nouvelles concordances des temps de la révolution de la conception ». Programme piloté par C. Midler et financé par l'ACI travail du MNRT.

tion des interfaces standardisées devant être en même temps *évolutive*) (Ulrich, 1995). Un produit modulaire est défini dans cette perspective comme un produit complexe, dont les différents éléments ont été conçus indépendamment, mais fonctionnent ensemble comme un tout homogène (Sako et Murray, 2002). Cette conception de la modularité s'inscrit dans la perspective de « loosely-coupling », au sens de Simon (1962), et renvoie essentiellement à l'idée de décomposer la complexité croissante d'un système (d'un produit) pour mieux la contrôler (Langlois, 2002).

2) À partir du célèbre article de Ron Sanchez et Joseph Mahoney publié dans le *Strategic Management Journal* en 1996, la modularité change de cap: de la *modularité technique* (du produit) on passe à la *modularité organisationnelle*. Au-delà de la conception spécifique des produits, Sanchez et Mahoney avancent l'idée que la modularité des produits tend à favoriser la modularité de l'organisation qui fabrique et conçoit ces produits. Dans leur perspective, la modularité est présentée comme une structure particulière en termes de coordination et de division du travail visant particulièrement la minimisation des coûts de transaction.

3) L'approche modulaire s'est enrichie récemment d'une dimension nouvelle avec les travaux de Richard Langlois pour qui la question de la modularité est essentiellement une question de communication et de langages communs (Koppl et Langlois, 2000). L'attention n'est plus focalisée sur les produits physiques eux-mêmes ni même sur les systèmes organisationnels formels

où ces produits prennent forme mais plutôt sur les processus de production et d'échange de connaissances qu'ils sous-tendent: communication, interaction et mise en relation.

Ainsi, on est désormais en présence de trois formes de modularité (du produit, de l'organisation, de la connaissance) *a priori* distinctes, mais qui sont dans la littérature supposées avoir de fortes corrélations entre elles¹. Dans cette contribution nous privilégions la direction tracée par Langlois visant à interpréter la notion de modularité comme une structure particulière de langage et de communication dont l'efficacité s'analyse en termes de performance du processus de création de connaissances (capacité d'exploitation ou d'exploration, capacité de capitalisation des connaissances, vitesse d'apprentissage, capacité collective d'interprétation ou capacité des dispositifs cognitifs locaux à s'accorder, capacité collective de détection des perturbations environnementales, etc.). Il s'agit d'approfondir cette analyse en considérant l'organisation comme un ensemble de « communautés » en interaction au sens de Brown et Duguid (1991). En considérant la modularité comme une structure particulière de langage et de communication intercommunautaires, nous analysons les mécanismes de division et de coordination des connaissances qui doivent être distingués, comme nous le montrerons, des mécanismes de division et de coordination du travail. Cette réflexion, au-delà de la réinterprétation de la modularité dans une optique cognitive, est l'occasion de revenir sur la typologie des diffé-

1. Brusoni et Principe (2001, p. 180, trad.) soulignent trois hypothèses fortes dans cette littérature: « 1) il existe une corrélation positive entre modularité du produit, modularité de l'organisation et modularité de la connaissance ; 2) les architectures modulaires permettent la spécialisation croissante, à la fois à l'intérieur et entre les entreprises ; et 3) les architectures modulaires permettent d'assurer la coordination avec un effort managérial minimum ».

rents modes de gestion de projets de création de produits élaborée par Sanchez et Mahoney. Nous proposons dans cette optique une extension de la typologie de Sanchez et Mahoney à un contexte spécifique d'interactions marqué par des échanges cognitifs très riches entre communautés et qui paraît mieux adapté à une économie de plus en plus basée sur les actifs intangibles et la création de ressources.

I. – LES ENJEUX LIÉS DE LA MODULARITÉ DANS LA CONCEPTION

La modularité, dans une perspective simonienne, apparaît comme une manière possible de gérer la complexité technique. Pour Simon, un système complexe « est construit à partir d'un grand nombre d'éléments qui interagissent d'une manière non simple. Dans de tels systèmes, la totalité est plus que la somme des parties, du moins au sens pragmatique. Étant donné les propriétés des parties et les lois de leurs interactions, l'inférence des propriétés de la totalité n'est pas triviale » (Simon, 1962, p. 195, trad.). Une manière de gérer la complexité est donc de réduire le nombre d'éléments distincts du système (critère de décomposabilité) en regroupant des éléments dans un nombre réduit de sous-systèmes. Pour illustrer cette idée, Simon recourt à la célèbre parabole des deux horlogers Tempus et Hora qui fabriquent tous deux des objets complexes composés d'un grand nombre d'éléments (montres), et qui sont tous deux fréquemment dérangés dans leur travail (manière pour Simon de représenter l'incertitude de l'environnement). Tempus ne conçoit pas ses montres comme des systèmes décomposables, et pour cette raison

chaque fois qu'il est dérangé, l'ensemble inachevé retombe en pièces. À l'inverse, Hora conçoit ses montres comme des systèmes décomposables, de sorte que lorsqu'il est dérangé, seul le dernier sous-système qu'il était en train d'assembler retombe en pièces. Les autres sous-systèmes achevés demeurent intacts. Ainsi, seul Hora peut « survivre » dans un environnement risqué.

1. De la modularité technique à la modularité organisationnelle

L'idée principale de Sanchez et Mahoney (1996) est que la conception simonienne de la modularité technique des produits conduit à la modularité de l'organisation qui conçoit ces produits. Leur raisonnement est le suivant : l'architecture modulaire technique implique la création d'une *structure d'information complète*. Cette structure d'information contribue à former le ciment d'un mode de « coordination incorporée » qui permet le développement d'une organisation modulaire : « La coordination incorporée correspond à la coordination des processus organisationnels accomplie par tous les moyens autres que l'exercice continu de l'autorité managériale. » (Sanchez et Mahoney, 1996, p. 66, trad.). L'élément nouveau ici est de relier les niveaux hiérarchiques des produits aux rapports hiérarchiques au sein des organisations. La conception de la modularité technique des produits suppose des formes organisationnelles particulières qui « économisent » de la hiérarchie et qui sont donc génératrices de baisses de coûts de transaction (principale source de performance de l'organisation modulaire) : « Une firme utilisant une architecture de produit modulaire pour coordonner les processus de développe-

ment a un moyen de mettre en relation rapidement les ressources et les capacités de plusieurs organisations pour constituer des chaînes de ressources destinées au développement du produit, qui peuvent répondre de manière flexible (c'est-à-dire, de manière générale, rapide et à faible coût) aux changements de l'environnement » (*Ibid.* trad.). L'économie de coûts porte essentiellement sur les réductions de coûts de gestion des interfaces pour la hiérarchie, qui permettent en particulier de fluidifier les relations avec les fournisseurs (Hoetker, 2002)².

Sanchez et Mahoney (1996) distinguent trois types fondamentaux de modes d'organisation des projets de création de produits :

1) Le « processus de conception séquentiel » qui implique un déroulement séquentiel des phases de conceptions des différents composants entrant dans la composition du produit final. L'organisation est composée d'équipes spécialisées dédiées spécifiquement à la conception de chaque composant et dirigées par un planificateur centralisé. Le processus de conception de produit est défini comme un ensemble de sous-problèmes hiérarchisés qui sont résolus de manière séquentielle. Lorsqu'il existe un blocage à une étape du processus, il est nécessaire de réinitialiser l'étape précédente, voire de relancer l'ensemble du processus.

2) Dans le « processus de conception concourant », les phases de conception des différents composants débutent avant la fin de la conception des composants précé-

dents. L'organisation est composée d'équipes pluridisciplinaires se coordonnant par ajustement mutuel. Cette organisation a pour objectif d'anticiper dès les phases amont les problèmes de conception qui se poseront en aval. Ce mode d'organisation permet de limiter les boucles de reprise par rapport à la situation précédente et d'accélérer considérablement le processus.

3) Dans le cas du « processus de conception modulaire », la conception de l'architecture du produit et la conception des composants sont traitées de manière séquentielle. La première phase aboutit à la définition d'un ensemble d'interfaces standardisées qui permet de rendre indépendante la conception des composants. La conception des différents composants peut être réalisée de manière simultanée, elle est donc très rapide. Notons que la conception modulaire n'est pas une simple amélioration de la conception concourante, puisque la conception des composants ne nécessite plus de collaboration entre les concepteurs des différents composants comme dans le cas concourant.

La modularité du produit est d'abord envisagée dans la vision de Sanchez et Mahoney (1996) comme un moyen d'accroître la performance du processus de conception (vitesse, réactivité, diversité, apprentissage) : c'est la configuration la plus performante. L'élément-clé de leur raisonnement est le suivant : la définition préalable de l'architecture du produit sous la forme d'in-

2. Autrement dit, la modularité permet à la firme de se rapprocher encore du contexte marchand, en ce que Langlois (2003) appelle la « main évanescence » (*vanishing hand*) qu'il décrit comme une forme hybride entre la main invisible d'Adam Smith (coordination de l'échange de produits préconstitués par les firmes) et la main visible d'Alfred Chandler (coordination étroite des managers des flux et de l'incertitude liée). Les nouvelles technologies de l'information et de la communication jouent un rôle central dans cette nouvelle dynamique marchande.

terfaces standardisées de composants permet de standardiser les objectifs des processus de conception des composants. En d'autres termes, la modularité du produit permet de converger vers une organisation modulaire du processus de conception. L'ensemble de la démonstration des auteurs, que l'on peut synthétiser en trois points centraux, découle de cette hypothèse initiale :

1) Premièrement, l'existence d'interfaces standardisées (cf. l'exemple de la plateforme physique chez Scania et de la plateforme organisationnelle du B2) permet à la fois (a) de rendre indépendants les processus de conception des composants, et (b) de découpler les phases d'apprentissage sur l'architecture du produit des phases d'apprentissage sur le design des composants.

2) Deuxièmement, lorsque les processus de conception des composants deviennent indépendants, il est alors possible d'obtenir :
– une diminution des coûts de coordination, dans la mesure où le recours à la hiérarchie et à l'ajustement mutuel n'est plus nécessaire pour régler les problèmes d'interface.

C'est le facteur principal qui assure la performance relative du mode d'organisation modulaire par rapport à d'autres formes d'organisation ;

– un accroissement de la robustesse du processus de conception des produits aux perturbations externes qui peuvent être traitées par le recours à des procédures de résolution locale au niveau d'un ou de quelques composants ;

– un accroissement de la vitesse du processus de conception des produits par la mise en œuvre simultanée des processus de conception des composants ;

– un accroissement de la diversité des produits conçus par combinaison des composants.

3) Troisièmement, le découplage des phases d'apprentissages accroît l'efficacité des processus d'apprentissage locaux sur les composants et celle des processus d'apprentissage sur l'architecture des produits. Ceci s'explique par le fait que l'attention des concepteurs de composants est focalisée sur un composant à la fois. Dans le même ordre d'idée, il existe une structure

UNE PLATE-FORME TECHNIQUE CHEZ SCANIA

« Les tout nouveaux moteurs de 9 litres représentent la dernière application en date de la plateforme modulaire de Scania, l'ensemble de la gamme des 9, 11, 12 et 16 litres reprend maintenant le même cylindre modulaire. SCANIA peut ainsi concentrer ses études des moteurs et sa recherche sur les émissions sur un seul cylindre, qui détient les mêmes propriétés de combustion dans toutes les configurations. Cela simplifie considérablement la recherche de l'équilibre optimal entre la consommation et les émissions. Tous les moteurs de cette plateforme ont des blocs en acier forgé, des chemises humides et des culasses individuelles à quatre soupapes, une architecture qui simplifie grandement l'entretien et les réparations. Les soupapes sont actionnées par un arbre à cames en tête, avec des poussoirs à galet. Tous les moteurs utilisent la même culbute et la même distribution. »

Source : Scania press info P04705FR/Per-Erik Nordström, juillet 2004.

spécifique qui prend en charge l'évolution de l'architecture. Finalement, la cohérence de l'ensemble est assurée dans la mesure où l'organisation concevant l'architecture des produits dispose d'une capacité d'absorption forte des innovations locales grâce à l'existence d'interfaces standardisées.

Il en ressort que même si Sanchez et Mahoney abordent principalement les aspects organisationnels de la modularité, leurs travaux montrent bien qu'ils prennent également en compte quelque uns de ses aspects cognitifs, notamment ceux liés à la maîtrise de processus d'apprentissage.

2. De la modularité organisationnelle à la modularité cognitive

Selon Baldwin et Clark (1997, 2002), un système modulaire devrait comprendre une partition de l'information entre, d'une part, un ensemble de règles de conception explicites, et d'autre part, un ensemble de paramètres cachés de conception (« connaissance encapsulée » au sens de Langlois). Les règles explicites comprennent : l'architecture qui spécifie la nature des fonctions de chaque module appartenant au système global, des interfaces décrivant comment les modules interagissent et communiquent, ainsi que des normes permettant de tester la conformité du système aux règles de conception et de mesurer sa performance. Dans cette perspective, à la manière de Parnas (1972) et von Hippel (1990), Langlois situe l'enjeu de la modularité³ au niveau cognitif. En effet, selon tous ces auteurs, un bon découpage modulaire devrait avant tout limiter les interdépendances cognitives

entre les modules : « Si la connaissance est cachée ou encapsulée dans un module, cette connaissance ne peut pas avoir d'impact, et par conséquent n'a pas besoin d'être communiquée aux autres parties du système. Dans cette configuration, chaque module est « caractérisé par sa connaissance d'une orientation de conception qu'il cache à tous les autres. Son interface ou sa définition ont été choisies pour révéler le moins possible au sujet de ses mécanismes internes » (Parnas, 1972, p. 1056; cité par Langlois, 2002, p. 22, trad.). De ce point de vue, le caractère plus ou moins modulaire de l'organisation d'un projet de conception joue sur le besoin de communication dans le projet. Plus précisément, la question posée dans un projet de conception est comment décomposer l'organisation d'un projet de recherche et développement en divisant et répartissant la tâche entre les équipes chargées du développement ?

Pour répondre à cette question de décomposition, Langlois se réfère à von Hippel (1990) pour qui la focalisation sur les interdépendances entre les différentes tâches que comprend le projet est la clé de sa résolution : « Si le projet est organisé d'une manière non-décomposable, alors l'interdépendance sera élevée. Ce qui implique que chaque équipe chargée du développement aura constamment besoin de recevoir et d'utiliser de l'information au sujet de ce que toutes les autres équipes font. » (Langlois, 2002, p. 6, trad.). Si la conception modulaire permet donc de limiter les coûts de communication, le caractère modulaire ou intégré d'une organisation influence

3. Langlois distingue la notion de modularité de celle de la décomposabilité. Selon la terminologie qu'il emploie, un système modulaire n'est pas nécessairement décomposable dans la mesure où il peut exister des interdépendances fortes entre les modules.

selon Langlois sa dynamique d'apprentissage. Un projet de conception d'un système non-décomposable nécessite en effet beaucoup de communication entre les concepteurs dans la mesure où le fonctionnement de chaque partie du système est fortement dépendant de celle des autres. Dans ce contexte, l'apprentissage ne peut pas se baser sur des mécanismes explicites de transmission de l'information. L'architecture du système, les interfaces gérant les interdépendances entre ses composants et les normes de bon fonctionnement ne sont en effet pas définies de manière explicite au préalable. En revanche, il est envisageable

qu'elles soient révélées *ex-post* à travers un processus d'essais et erreurs.

En s'appuyant sur les travaux de Brooks (1975), Langlois suggère même que les organisations non-modulaires de la production présentent l'avantage de stimuler l'apprentissage en révélant les erreurs et les incohérences du système. Il prend comme exemple les systèmes intégrés japonais de production gérés en juste à temps, qui favorisent selon lui le processus d'amélioration continue en faisant émerger les causes de dysfonctionnement du système (avec l'intégration, la sensibilité du système aux défaillances de ses compo-

UNE PLATE-FORME ORGANISATIONNELLE POUR LE B2

Le projet de conception de l'avion furtif B2 pour le DoD a été réalisé pendant la période 1980-1986 par les entreprises Northrop (*prime contractor*), Boeing, Vaught, et General Electric. Le projet est un exemple devenu classique de conception modulaire. La gestion décentralisée des phases situées en aval du projet a été rendue possible notamment par la construction préalable d'un système d'information très élaboré, commun aux contractants. Il s'agissait d'aboutir à une redistribution des savoirs de conception entre les partenaires (Abecassis-Moedas et S. Ben Mahmoud-Jouini, 2004). Ce système a joué, d'après Argyres, le rôle d'une véritable « grammaire technique » et d'un ensemble de conventions sociales reposant sur la définition de standards, pour la codification et la transmission des données, pour le format de la base de donnée, la modélisation et l'analyse du design des modules.

Cette grammaire technique commune a permis, entre autres, d'éviter les erreurs d'interprétation de l'information transmise entre les ingénieurs. Elle a aussi permis aux concepteurs de focaliser leur attention sur la conception du module qui leur avait été confié, ce qui limite le besoin de communiquer avec les responsables des autres modules. D'une part, grâce à la transmission quasiment en temps réel de l'information, chaque équipe de concepteur de module était mise immédiatement au courant de l'évolution du design des autres modules. D'autre part, les évolutions proposées par les concepteurs étaient rejetées par le système chaque fois qu'elles remettaient en question la viabilité de l'architecture globale de l'avion. Finalement, les concepteurs interrogés par Argyres s'accordent pour souligner que le nombre de boucles de reconception était exceptionnellement faible sur ce projet (par rapport à leur expérience passée).

Source : Argyres (1999).

sants augmente). Il suggère également que les bénéfices de cette intégration (non-décomposabilité dans la terminologie de Langlois) sont limités à des environnements relativement stables pour lesquels l'investissement dans la modularité n'est pas rentable. Il donne l'exemple d'un système dont l'environnement ne change jamais et qui peut ne pas devoir beaucoup se préoccuper au sujet de modularisation : « Tempus fera aussi bien que si Hora n'était jamais interrompu. Les systèmes qui se développent lentement dans un environnement changeant lentement n'ont peut-être pas à acquérir, ou ne requièrent pas, beaucoup de modularité. » (Langlois, 2002, p. 23, trad.).

3. De la pertinence des stratégies modulaires

Les stratégies modulaires sont aujourd'hui le plus visibles dans le secteur informatique qui illustre bien leur dynamique sous-jacente de complémentarité et de fertilisation croisée. Cusumano et Gawer (2002) montrent comment des entreprises comme Intel, Microsoft, Palm ou Cisco, tendent de plus en plus vers des structures de « *platform leaders* » (des firmes qui pilotent les innovations dans un système évolutif de technologies développées séparément). La majorité des *platform leaders* n'ont pas les capacités ou les ressources pour créer des systèmes complets en construisant eux-mêmes tous leurs composants. Ils ont besoin de collaborer, les efforts combinés des *platform leaders* et de leurs innovateurs complémentaires augmentant le bénéfice potentiel de chacun.

Dans d'autres secteurs par contre, la dynamique de modularisation n'a pas connu les

mêmes réussites. Dans l'industrie automobile française par exemple, Fourcade et Midler (2003) montrent que peu de constructeurs ont adopté une architecture modulaire sur l'ensemble de leur gamme et encore moins qu'ils se sont organisés pour mettre en liaison des équipementiers modulaires et piloter le processus de création de connaissances et d'innovation. L'étude menée par les auteurs chez un équipementier du secteur automobile a montré que malgré ses succès commerciaux, la modularisation dans le secteur automobile n'a pas donné les résultats escomptés. Les auteurs montrent clairement que le rôle de *platform leader* n'a pas été joué par les constructeurs et que le processus de modularisation n'a pas été clairement identifié, et *a fortiori* suivi. En l'absence d'une véritable stratégie de modularisation, l'équipementier, laissé pour compte sous la pression de la logique transactionnelle, a dû faire face à des coûts de modularisation beaucoup plus élevés que les stratégies de standardisation et à des prises de risques importantes, ce qui a eu pour effet d'handicaper la dynamique d'innovation autour de la plate-forme : « (L)es idées transversales (chez l'équipementier) ont du mal à survivre. Soit parce qu'elles sont tuées dans l'œuf par des logiques contraires (systèmes, standardisation, optimisation économique d'un composant au détriment du système pour cause de logique de centre de profit), soit parce qu'elles ne trouvent aucun sponsor interne dans la mesure où ces idées sont à cheval sur plusieurs divisions. » (Fourcade et Midler, 2003, p. 13).

Contrairement au secteur informatique, la logique transactionnelle privilégiée par les

constructeurs d'automobiles (notamment américains)⁴ cherche uniquement à tirer profit de « l'effet de spécialisation » de l'équipementier par rapport aux constructeurs qui se traduit par un « différentiel de salaire » synonyme d'un transfert de coûts vers l'équipementier. Et en l'absence de demande d'efforts de conception du module de la part du *platform leader*, le « modulier » ne peut se distinguer de ses concurrents autrement que par le prix. Dit dans les termes de Sako et Murray (2001), la logique transactionnelle dans le secteur automobile a favorisé uniquement la « modularité en production », et donc la minimisation des coûts de transaction, et a laissé de côté la « modularité en conception ». Dans le cas étudié par Fourcade et Midler (2003), c'est la modularisation en production qui a été jouée alors que la modularisation en conception, gardée par les constructeurs automobiles simplement comme une « option », n'a été activée que très tardivement, ce qui explique le faible degré d'innovation produit par la stratégie de modularisation.

Or, une mise en avant *ex-ante* par les *platform leaders* de la modularité en conception est nécessaire. C'est ce que confirme l'exemple donné par Cusumano et Gawer (2002, p. 56) d'Intel qui, contrairement à ce qui se passe dans le secteur automobile, a

su clairement réussir sa stratégie de *platform leader*. Selon les auteurs, Intel, qui a gardé des profits nets importants après l'éclatement de la bulle au printemps 2000, a su rester motivée par une logique autre que la logique transactionnelle visant uniquement la minimisation des coûts de transaction de court terme⁵. Elle a changé à cet effet à la fois son organisation interne et son interaction avec son environnement externe dans la visée de piloter le processus de modularisation en ayant *ex ante* un certain degré de contrôle sur les composants et la plate-forme tout en favorisant l'émergence *ex-post* d'innovations autour de la plate-forme (*ibid.*).

Sanchez et Mahoney suggèrent, pour leur part, que lorsqu'on considère les activités de conception, une organisation modulaire domine en toute circonstance une organisation séquentielle ou concurrente. Langlois est cependant plus mesuré dans son argumentation dans la mesure où il s'interroge sur la pertinence d'une stratégie modulaire dans un contexte environnemental statique. Ses doutes le conduisent également à souligner que, dans les environnements les plus dynamiques, la définition de frontières d'encapsulation (ou de module) est problématique. Il donne l'exemple des tâches dans un projet de développement innovateur qui ne peuvent pas être divisées

4. « Ford avait annoncé dans le *Financial Times* en 1991 qu'il serait le premier constructeur sans usine. La modularisation est un moyen de commencer ce transfert massif de charges du bilan vers le compte de résultat. Ce ne sont ni l'innovation, ni la volonté de réduire les délais de conception qui ont dicté le mouvement vers la modularisation automobile. » (Fourcade et Midler, 2003, p. 18). « Moteur presque principal de la motivation des constructeurs américains à modulariser, la sous-traitance à des équipementiers de sous-ensembles préalablement montés par les constructeurs eux-même a permis sans rien changer au produit des économies de plus de 20 % sur la part main-d'œuvre. » (*ibid.*, p. 21).

5. Comme le souligne Langlois (1993), le coût de transaction dans le sens coasien est essentiellement un coût de court terme. Dans une dynamique économique basée sur la création de ressources, les dispositifs contractuels de l'économie des coûts de transaction ne peuvent prendre en charge tous les processus compliqués de production, validation et diffusion des connaissances productives qui se passent souvent à travers des constructions dans le long terme (cf. partie II).

ex-ante, dans la mesure où la connaissance change continuellement : « Dans un tel cas, la modularisation du système (le projet de développement) doit changer continuellement ; et qui plus est la modularisation doit en toutes circonstances prendre en considération le caractère inévitable de la remodularisation lorsque l'apprentissage a lieu. Dans les projets routiniers (...) il peut être possible de prédire quelles tâches deviendront la source de nouvelles informations ; mais dans des projets véritablement nouveaux, la prédiction devient presque impossible. » (Langlois, 2002, p. 14-15, trad.). Ces deux arguments ont tendance à fortement limiter le domaine de pertinence de la stratégie modulaire dans la conception. En effet, le premier argument revient à dire qu'il y a peu d'intérêt à investir dans la modularité dans un contexte statique. Quant au second, il suggère que les contextes les plus dynamiques impliquent une constante remodularisation, ce qui suppose par conséquent de renoncer à tous les attributs qui permettent de rendre un système modulaire : une architecture prédéfinie, des interfaces définissant les interactions entre modules, des normes de conformité et de performance.

Pour notre part nous proposons de distinguer deux situations : les situations *risquées* (ou de « risque avéré ») et les situations *incertaines* (ou de « risque potentiel »).

1) Les situations risquées sont des contextes qui peuvent être appréhendés et optimisés au travers des lois de probabilité. C'est le cas pour Hora et Tempus qui sont régulièrement dérangés dans leur travail.

Dans ce contexte, en isolant les différents composants du système, la modularité permet de limiter l'impact des perturbations environnementales à un seul sous-système. Malgré les perturbations, le système continue à fonctionner de manière dégradée : il peut tout au plus être nécessaire de remplacer un module (le dernier sous-système qu'Hora était en train d'assembler).

2) *A contrario*, les situations d'incertitude sont des situations qui ne sont pas appréhendables par des lois de probabilité dans la mesure où le contexte n'est que partiellement caractérisé. Il n'est dès lors pas possible de définir *ex-ante* l'architecture du système ainsi que les interfaces entre l'ensemble des composants.

L'idée selon laquelle les structures modulaires sont plus adaptées à un environnement dynamique que les organisations classiques (linéaires ou concourantes) est sujette à discussion. Il est utile ici de se référer à la théorie de Mintzberg⁶ pour éclairer cette question. Notons tout d'abord que la stabilité de l'environnement ne qualifie pas nécessairement un environnement statique qui n'évolue pas, mais qu'elle peut faire référence à un environnement dont l'évolution est prévisible : « La dimension stabilité affecte la structure par l'entremise de cette dimension intermédiaire qu'est la prévisibilité du travail à faire. En d'autres termes, un environnement dynamique rend le travail de l'organisation incertain et imprévisible. » (Mintzberg, 1982). Plus l'environnement est statique, plus il est possible (mais pas nécessaire) de formaliser le travail, plus l'organisation a la possibilité

6. Dans la mesure où elle synthétise un grand nombre d'études des théoriciens de la contingence (notamment celles de Burns et Stalker (1966) et Lawrence et Lorsch (1967)), et fonde le courant de l'approche configurationnelle.

de fonctionner selon des principes hiérarchiques. Inversement, plus l'environnement est dynamique, moins il est possible de formaliser le travail et plus l'infrastructure a tendance à devenir organique. Le caractère dynamique ou statique de l'environnement aurait donc un impact sur le succès potentiel de la bureaucratisation de la structure, et pas nécessairement sur le succès des stratégies modulaires.

En revanche, l'hypothèse du succès de la stratégie modulaire dépend essentiellement de la complexité⁷ et de la diversité⁸ de l'environnement (ce qui est cohérent avec la vision de Simon). Toujours selon l'auteur, l'augmentation de la complexité conduit les organisations à « se décentraliser », ce qui se traduit au niveau individuel (les postes de travail) par un phénomène de professionnalisation qui pousse les membres du centre opérationnel à accroître leur contrôle sur leur travail. Au niveau de la superstructure, on observe une décentralisation verticale vers les unités qui augmentent leur autonomie en participant aux décisions concernant l'allocation des ressources et la détermination des politiques (par exemple dans les bureaucraties professionnelles, le travail réalisé par chaque professionnel est faiblement dépendant de celui des autres professionnels). Par opposition, dans un environnement simple, l'organisation peut s'accommoder d'un fonctionnement centralisé où les membres du centre opérationnel sont peu qualifiés (la

définition des procédures de travail étant assurée par la technostructure) et des unités intégrées (la politique générale étant l'apanage de la hiérarchie).

Quant à l'augmentation de la diversité, elle conduit les organisations à « se spécialiser ». Dans un environnement hétérogène, les organisations cherchent à identifier des segments homogènes et à créer dans leur structure des unités pour traiter chacun d'entre eux. Ceci se traduit au niveau individuel (les postes de travail) par une spécialisation horizontale du travail. Au niveau de la superstructure, la diversité conduit à la divisionnalisation qui constitue une forme de décentralisation sélective (par exemple, dans certaines structures divisionnelles, les unités sont quasiment indépendantes les unes des autres). Pour des raisons techniques (systèmes techniques qui ne peuvent être segmentés) ou économiques (économies d'échelle), il est parfois nécessaire de conserver une gestion centralisée de certaines fonctions-clés. Par opposition, on constate que les entreprises monoproduits, évoluant dans un environnement homogène, adoptent le plus souvent une structure fonctionnelle (intégrée) classique. Ces travaux montrent ainsi que les configurations organisationnelles intégrées ne sont pas toujours dominées en termes de performance par les configurations modulaires. Comme nous l'avons rappelé ci-dessus, la littérature récente a mis successivement en

7. Au sens de Mintzberg, l'environnement peut être complexe ou simple. La complexité dépend notamment de la nature du savoir mobilisé. Un environnement complexe implique que l'organisation a besoin des connaissances appartenant à un ensemble de domaines scientifiquement avancés pour réaliser un produit complexe (Cops). L'environnement devient simple si le savoir requis peut être rationalisé et décomposé en éléments compréhensibles : « La dimension complexité affecte la structure par l'entremise de la dimension intermédiaire qu'est l'intelligibilité du travail à faire ».

8. L'environnement peut également être diversifié ou intégré. La diversité témoigne de l'hétérogénéité de l'environnement : « La diversité des marchés affecte la structure par l'entremise d'une autre variable intermédiaire : la diversité du travail ».

évidence trois types de modularité : technique, organisationnelle et cognitive. Le point à souligner est que jusqu'à présent la littérature semble s'accorder à ne pas voir de divergences majeures entre les trois formes de modularité qui *in fine* sont supposées fortement corrélées entre elles. Nous souhaitons revenir sur cette hypothèse très forte en essayant de préciser ses conditions de validité : il nous semble en effet que la coïncidence des trois formes de modularité ne peut se produire que si la division du travail coïncide avec la division des connaissances, ce qui ne peut se produire que dans des environnements relativement stabilisés.

II. – UNE INTERPRÉTATION DE LA MODULARITÉ EN TERMES DE COMMUNAUTÉS

L'exemple décrit par Hoetker (2002) sur la nature des rapports clients/fournisseurs est intéressant pour analyser l'impact de la modularité technique sur les autres formes de modularité. Dire que les trois types de modularité sont confondus, revient à dire que le fournisseur choisi par le client (en fait l'ensemblier assurant l'intégration d'un système modulaire) est celui qui a les meilleures capacités techniques, celui avec lequel la gestion des interfaces est la moins coûteuse (en termes de coûts de transaction) et celui avec lequel le coût de communication est le moins élevé. Dans ces conditions, on est assuré de la coïncidence. Si ces conditions ne sont pas simultanément vérifiées, il est probable que l'interprétation à donner à la notion de modularité peut différer d'une approche à l'autre. Aussi, la difficulté est que chaque forme de modularité

renvoie à un critère de performance précis : la modularité technique renvoie à un critère de minimisation d'interactions (ou informationnelles) dans un système physique (le produit), la modularité organisationnelle renvoie à un critère de minimisation des coûts de transaction, tandis que la modularité cognitive renvoie à un critère de minimisation des coûts de communication. Ces critères convergent dans une situation particulière qui est effective lorsque la division du travail coïncide avec la division des connaissances. Comme le souligne Lorino (1996), « la division du travail distribue des activités entre des acteurs multiples, tandis que la division de la connaissance distribue des capacités d'interprétation entre ces acteurs ». Ces deux formes de division se recourent lorsque l'environnement est stable. On sait que dans ce cas, les formes organisationnelles hiérarchiques qui assurent l'intégration de fractions de connaissances éclatées existantes sont les plus efficaces. Dans ces conditions, la division du travail (des « tâches ») implique une division des connaissances (spécialisées) nécessaire à la réalisation de ces tâches. La frontière qui marque la division entre tâches correspond à une frontière stable qui marque la division entre des ensembles de connaissances spécialisées. Mais au fur et à mesure que l'environnement devient turbulent, ce recouvrement de frontières ne tient plus. La division des connaissances se découple de la division du travail. Les rôles tendent à se renverser : ce n'est plus la division du travail qui rythme la division des connaissances, mais à l'inverse, la frontière de tâches, de moins en moins stabilisée dépend de l'évolution des connaissances et

de la capacité d'interprétation⁹ des acteurs qui change continuellement.

Pour mieux situer les enjeux des différences entre les trois types de modularité, nous nous proposons de réinterpréter la modularité cognitive en considérant que l'organisation est constituée de communautés interagissantes. La modularité (cognitive) peut alors être considérée comme un mode de coordination particulier entre communautés. Il est alors possible d'étendre la notion de *coordination incorporée* proposée par Sanchez et Mahoney dans le cadre de la modularité organisationnelle, à une autre forme de modularité axée sur l'interaction entre communautés intensives en connaissances¹⁰.

1. Le projet de conception dans une organisation vue comme une « communauté de communautés »

Notre hypothèse est que dans une économie fondée de plus en plus sur la connaissance, une part croissante des processus de génération et de circulation des connaissances au sein des entreprises est assurée par le fonctionnement de « communautés intensives en connaissances ». Ces communautés sont constituées d'agents qui interagissent fréquemment entre eux, par le biais d'une architecture de communication non-

hiérarchique. Une caractéristique essentielle qui se dégage de l'analyse de ces systèmes d'échange coopératif volontaire est l'importance des normes de comportement qui guident les actions des membres qui y adhèrent, de même que l'intensité des relations de confiance qui semble gouverner les relations. Les communautés apparaissent ainsi comme de véritables unités actives de compétences permettant de rendre possible et d'asseoir la production, l'accumulation et la validation des connaissances. Ces communautés peuvent se former à l'intérieur des découpages hiérarchiques traditionnels (par exemple, à l'intérieur des départements fonctionnels ou des équipes de projet), mais peuvent aussi traverser les structures hiérarchiques de la firme en rassemblant des membres intéressés à un domaine de connaissance particulier¹¹.

Parmi les communautés intensives en connaissance, une attention particulière a été accordée dans la littérature à la notion de « communautés de pratique » (Lave et Wenger, 1990; Brown et Duguid, 1991 et plus récemment Cohendet *et al.*, 2003). Une communauté de pratique est constituée d'un groupe d'agents engagés dans la même pratique et communiquant régulièrement à travers des mécanismes qui peuvent être très divers : e-mails, rencontres face-à-

9. L'évolution des connaissances et des compétences des acteurs modifie leurs représentations. Par conséquent les interprétations qu'ils portent sur le contexte de leur activité évoluent également et ont un impact sur leur prise de décision ainsi que leur dynamique d'apprentissage.

10. Notons que Sanchez et Mahoney (1996, p. 66) suggèrent implicitement une telle extension lorsqu'ils écrivent en note de bas de page que : « la notion critique de « coordination incorporée » peut inclure d'autres formes de coordination que la modularité, comme par exemple « la coordination de clan par le biais de la tradition » ». Nous proposons ici d'étendre la notion de « coordination incorporée » non pas au fonctionnement de clans, mais à l'interaction de la myriade de communautés composant l'organisation.

11. Par exemple, dans la plupart des organisations le petit groupe des individus capables de « dépanner » lorsque l'on rencontre un problème informatique, constitue souvent une véritable communauté (dont les membres interagissent fréquemment entre eux autour de leur passion commune) qui traverse les différentes structures hiérarchiques de l'entreprise (ce groupe n'est en général pas du tout limité aux seuls membres du département informatique).

face, séminaires réguliers, etc. Une communauté de pratique s'enrichit progressivement grâce aux interactions répétées entre agents qui communiquent régulièrement leurs expériences et valident les formes nouvelles de la pratique commune. Elle joue ainsi le rôle d'un véritable noyau élémentaire de compétence que Wenger (1998, p. 137) qualifie de « régime de compétence localement négocié ». Une telle communauté peut être considérée comme un dispositif de coordination permettant à ses membres d'améliorer leurs compétences individuelles à travers l'échange et le partage d'un répertoire commun de ressources qui se construisent en même temps que se développe la pratique de la communauté. L'apprentissage collectif et la construction de connaissances nouvelles apparaissent ainsi comme une production *non délibérée* de la pratique commune. Comme le soulignent Wenger et Snyder (2000, p. 139, trad.), « ce sont des groupes d'individus liés de manière informelle par l'expertise partagée et la passion pour une entreprise commune (...). Inévitablement, ces individus dans les communautés de pratique partagent leurs expériences et connaissances dans des voies fluides et créatives qui stimulent de nouvelles approches aux problèmes ».

L'intérêt porté aux communautés intensives en connaissances au sein des entreprises s'explique par le fait que, dans une économie de plus en plus basée sur la création de ressources, la production et la diffusion des connaissances sont désormais davantage encadrées dans des contextes et dans des structures informelles d'interaction et de communication, de sorte que l'un des rôles majeurs de la firme est de rendre cohérentes les interactions entre les différentes com-

munautés qui la composent. Comme le soulignent Brown et Duguid (1991, trad.), dans cette représentation, la firme est perçue « Comme un collectif de communautés, et non simplement d'individus, dans lesquelles il est légitime de décréter des expériences, les perspectives de communautés séparées pouvant être enrichies par les échanges entre communautés. La concurrence des idées peut susciter les velléités d'improvisation nécessaire à l'innovation organisationnelle. De cette manière, les grandes organisations, structurées de manière réfléchie, sont peut-être de bonnes candidates pour être hautement innovantes et faire face aux discontinuités. Lorsque leurs communautés internes ont un degré raisonnable d'autonomie et d'indépendance vis-à-vis de la vision du monde dominante, les grandes organisations peuvent réellement accélérer l'innovation. »

Aussi, dans un contexte d'innovations permanentes, le découpage modulaire qui mène aux « frontières encapsulées » auxquelles se réfère Langlois ne peut reposer sur une division des tâches appelées à profondément se transformer. Il nous semble qu'il peut en revanche reposer sur des communautés actives dans la production et l'échange de connaissances qui sont les ferments mêmes de la construction de savoirs nouveaux, à partir desquelles se définiront les tâches futures à entreprendre. Dans une telle perspective, la vision de la modularité que nous suggérons est celle d'un véritable processus de codification permettant à des communautés hétérogènes de se coordonner. L'enjeu de ce processus de codification est de fournir la grammaire « minimale », le méta-langage permettant à des groupes utilisant des jargons spécifiques de trouver une cohérence dans leur projet de création. Le

prix à payer pour entreprendre un tel processus de codification (qui est toujours coûteux, car il faut bien payer un coût fixe qui est précisément celui de constitution de cette grammaire commune) doit être clairement apprécié et mis en regard avec les avantages ultérieurs (réduction des coûts de communication) que procure la modularité cognitive. La réduction des délais, dans une démarche de modularité cognitive, n'est pas un acquis. La phase de construction de la grammaire commune pouvant être longue, il n'y aura *in fine* réduction des temps de conception par rapport à d'autres modes de gestion des projets de création de produits que si les gains de temps de coordination, une fois la grammaire définie, sont suffisants pour compenser le temps passé à la construction de la grammaire commune. On conçoit ainsi aisément que le passage à la modularité cognitive sera d'autant plus facile que les communautés impliquées se connaissent déjà et bénéficient d'expériences communes.

2. Une typologie des projets de conception

La représentation de la firme comme une communauté de communautés pose cependant un redoutable problème de cohérence, car rien ne garantit, *a priori*, la concordance systématique des intérêts et des objectifs des différentes communautés en place. Les

communautés constitutives de l'organisation ne sont pas forcément toutes homogènes, ni convergentes vers un objectif commun. Les risques de conflits intercommunautaires, d'autisme ou de cloisonnement paroissial, sont latents. Une explication globale du fonctionnement de l'organisation conçue comme un assemblage cohérent de communautés est donc nécessaire. La représentation de la firme sous la forme de communautés hétérogènes imbriquées pose le problème crucial de l'analyse de l'émergence spontanée ou intentionnelle des systèmes référentiels structurant les croyances individuelles et collectives construites dans le processus de décision¹².

En considérant ainsi, dans un contexte d'économie fondée sur la connaissance, une firme constituée de communautés hétérogènes interagissantes, nous proposons d'analyser la manière dont se réalisent les interactions entre communautés¹³ à partir des deux mécanismes principaux suivants : 1) la répétitivité (critère quantitatif) des interactions entre communautés ; 2) la nature de la communication (critère qualitatif) entre communautés.

L'idée sous-jacente est que toute forme de coordination entre agents mobilise à la fois des échanges informationnels et la construction d'une architecture cognitive commune. Les deux phénomènes ont natu-

12. Une telle représentation se heurte par ailleurs à une difficulté majeure si l'on raisonne en termes dynamiques : les communautés peuvent en effet profondément évoluer dans le temps, certaines émergent, d'autres disparaissent, d'autres se transforment ou s'institutionnalisent. Dans le cadre de ce travail, pour ne pas multiplier les angles d'analyse, on supposera que les communautés constitutives de l'organisation sont données. La communauté devient de fait l'unité d'analyse.

13. À ce propos il est intéressant de consulter les travaux de Musca (2004) qui suggèrent que la création de compétences collectives dans le cadre de projets innovants (il s'agit de sites internet de presse) dépendent de la nature des interactions entre les communautés différentes participant aux projets (la mise en œuvre de ces sites nécessite la coopération de communautés de journalistes, de techniciens, de graphistes, de *traffic manager* et de concepteurs multimédias).

rellement des points communs, mais il nous semble essentiel de bien les distinguer. Certaines communautés peuvent se rencontrer très fréquemment (les ouvriers peuvent déjeuner et prendre le café chaque jour dans la même cantine que les managers), ce qui est susceptible de générer certains effets bénéfiques pour l'entreprise (formation d'une certaine connaissance commune, compréhension plus rapide que « quelque chose ne va pas »), alors que la nature de la communication (un langage commun minimal et sa grammaire qui permettent de mieux véhiculer la connaissance entre les communautés) peut rester très pauvre. Une fréquence élevée de rencontres permet d'échanger des informations. Elle peut stimuler, mais ne garantit pas la construction de modèles ou de représentations du monde communes, ni les bases de construction communes de connaissances. En revanche, certaines communautés peuvent être reliées par une nature de la communication très riche (certaines communautés virtuelles qui peuvent échanger entre elles grâce à un langage commun) tout en ayant une faible répétitivité d'interactions. On peut également songer ici – en s'inspirant de Mintzberg – aux différentes communautés intervenant dans des situations d'urgence (gendarmes, secouristes, pompiers, brancardiers, etc.) qui ne se connaissent souvent pas (répétitivité d'interaction faible), mais qui se coordonnent immédiatement dans l'action grâce à la connaissance d'un langage commun et de règles communes. En d'autres termes, on est en présence de deux situations d'interaction extrêmes : on peut s'échanger beaucoup d'informations (répétitivité des interactions) mais ne pas se comprendre (pas d'infrastructures de communications entre communautés), et à l'op-

posé, avoir toutes les facultés (cognitives) pour bien se comprendre, mais ne jamais échanger d'informations. Naturellement, les configurations concrètes dans la firme correspondent à des situations intermédiaires entre ces deux extrêmes.

Pour clarifier le problème du choix complexe des structures de gouvernance des projets de conception associant mécanismes hiérarchiques et fonctionnement des communautés, nous proposons d'établir une typologie des contextes de firmes en fonction de deux dimensions : 1) intensité de la répétitivité des interactions entre communautés ; 2) qualité de la communication entre communautés.

À partir de cette typologie, nous développons ci-dessous l'idée que la nature de la gouvernance appropriée de la firme dépend de la catégorie spécifique à laquelle elle appartient.

À partir de ces considérations, en reprenant la classification du tableau 1, on peut distinguer les contextes de création suivants :

1) La première catégorie (interactions entre communautés peu intenses, codes et langages communs pauvres) correspond à une gestion linéaire du processus de résolution de problèmes comme dans les entreprises tayloriennes. On retrouve ici le processus de conception séquentiel de Sanchez et Mahoney. La forte division du travail aboutit à la création d'unités spécialisées qui n'interagissent pas fréquemment, et ne développent pas de langages communs riches. La coordination s'appuie sur un pouvoir hiérarchique fort qui établit *ex-ante*, les règles et les procédures qui devront être suivies par l'ensemble de l'organisation et qui supervise le déroulement global du processus de conception. Ce modèle est susceptible de fonctionner dans

retrouve ici le processus de conception concourant de Sanchez et Mahoney. L'organisation est composée d'équipes pluridisciplinaires qui se coordonnent par ajustement mutuel. Au début du processus, les représentations des différentes communautés de concepteurs sont divergentes. La définition du système à concevoir évolue au travers d'un processus de négociation. De la même manière, les savoir-faire à mettre en œuvre dans le projet ne sont pas tous maîtrisés ni tous identifiés par les communautés de concepteurs. Les interactions intenses entre les différentes communautés de concepteurs constituent un moyen de construire une représentation commune du projet et favoriser la convergence du processus d'apprentissage. Le succès de ces projets implique un investissement managérial (*ex post*), ayant pour objectif non seulement de résoudre les conflits entre communautés, mais également de veiller à l'intégration des connaissances communes et à la coordination des croyances communautaires. Le processus de conception concourant constitue un moyen possible de réaliser des innovations radicales lorsque la taille (et la complexité) reste dans une certaine limite. En effet, lorsque la taille du projet et le nombre de communautés de concepteurs augmentent, le besoin d'interaction augmente de manière exponentielle. En outre, notons que cette configuration de processus de conception n'est pas particulièrement adaptée aux contextes multiprojets dans la mesure où elle ne prévoit pas de dispositifs permettant de générer des économies de variété et dans la mesure où la capitalisation de l'apprentissage est délicate dans les processus concourants (cf. Midler, 1993).

3) La troisième catégorie (interactions entre communautés peu intenses, codes et

langages communs riches) correspond à une structure organisationnelle dotée d'une plate-forme cognitive qui permet aux unités quasi indépendantes de fonctionner de manière efficiente. Dans cette configuration modulaire, les concepteurs décident au début du processus de définir une architecture du système à concevoir, des interfaces gérant l'interaction et la communication entre les modules, ainsi que des normes permettant de tester la conformité du système et de mesurer sa performance. Nous sommes bien dans la modularité à la Sanchez et Mahoney avec une organisation décomposable au sens de Langlois: autrement dit, c'est la modularité technique qui permet l'organisation du projet suivant une conception modulaire et génère finalement une modularité cognitive. En effet, l'environnement étant stable, la division des connaissances finit par s'ajuster sur la division du travail, ce qui permet la création de langages et de représentations communs partagés par toutes les communautés de concepteurs. Dans une deuxième phase, les différentes communautés de concepteurs sont susceptibles de travailler de manière indépendante à la conception de leurs modules. De par leur nature tacite, les codes et langages communautaires sont dans ce cas parfaitement découplés, c'est-à-dire qu'une modification sur l'une des communautés connectées par l'interface n'entraîne pas de changement sur les autres communautés mises en relation par cette interface. Comme le soulignent Sanchez et Mahoney, cette configuration a l'avantage également de découpler l'apprentissage sur l'architecture du système de l'apprentissage sur les modules. Cette configuration est donc particulièrement pertinente dans un contexte multiprojet. En effet, pour

bénéficier de ce découplage de l'apprentissage, il est nécessaire que plusieurs systèmes soient conçus sur la base d'une même architecture, ou que certains composants soient réutilisés dans des systèmes ayant une architecture différente. Le rôle de la hiérarchie est ici de définir (*ex-ante*) la nature de la plate-forme, et de redéfinir (*ex-post*) la plate-forme, lorsque des innovations sont inévitables. Comme le souligne Langlois, dans les environnements les plus perturbés et dans les contextes impliquant des innovations radicales, il n'est pas possible de définir des frontières d'encapsulation au départ du projet.

4) Notre typologie aboutit logiquement à une quatrième catégorie (interactions entre communautés intenses, codes et langages communs riches) qui n'est pas envisagée par Sanchez et Mahoney. Dans cette configuration, il n'existe pas d'architecture de produit ou d'interface de composants prédéfinie. En d'autres termes, il n'y a pas de modularité technique ni organisationnelle au départ du projet. En revanche, les langages et les représentations des différentes communautés de concepteurs sont articulés. On s'appuie généralement sur un réseau intercommunautaire d'acteurs qui permet de veiller à la cohérence des langages et des représentations locales¹⁴. Avec ce mode de gestion, on peut envisager un pilotage du processus de conception par les seules communautés, la hiérarchie n'étant utile que pour « autoriser » ou « énoncer » les différentes formes organisationnelles qui émer-

gent de l'interaction des communautés autonomes. La modularité de l'organisation ou du produit est révélée *ex-post*, contrairement à la situation précédente où elle était définie *ex-ante*. L'organisation est susceptible d'évoluer aussi bien dans des contextes environnementaux stabilisés que dans des contextes perturbés. Il est probable que cette recombinaison incessante des communautés permette à l'organisation d'innover de manière constante. Ce type d'organisation pourrait être désigné comme le résultat d'une « gestion par énonciation », dont un exemple est la plate-forme de connaissances d'Olivetti décrite par Ciborra (1996).

CONCLUSION

Nombre de travaux récents posent la question de la modularité exclusivement dans les termes de l'externalisation et des effets qu'elle induit : désintégration verticale, déspecificité des actifs, réduction de l'opportunité des firmes co-contractantes du fait que l'information est cachée, coordination incorporée limitant le besoin de la coordination managériale, réduction des coûts de transaction, etc. Le point focal de ces travaux ne porte ainsi généralement pas sur la modularité de la firme elle-même ni sur les structures cognitives qu'elle sous-tend mais plutôt sur la modularité organisationnelle du réseau interfirme construit autour du produit modulaire¹⁵. Nous avons cherché dans cette contribution à aller au-delà de

14. Ces « acteurs d'interface » ont souvent une multi-appartenance qui leur permet de transférer des éléments entre les communautés de pratique mais aussi vers la hiérarchie (Wenger, 1998). Ils sont en quelque sorte des nœuds entre des réseaux mixtes qui ont une fonction de « traduction » (au sens de B. Latour) entre des milieux hétérogènes. Les nouvelles significations ainsi créées facilitent l'apprentissage et la création de connaissances intra et intercommunautaires.

15. Pour une revue de littérature, voir Sturgeon (2002).

cette hypothèse forte du *continuum* modularité technique-modularité organisationnelle (interfirme) en privilégiant l'analyse des réseaux de conception intra-firme et l'étude de la dimension cognitive de leur intégration. À travers la représentation de la firme comme un réseau de communautés de concepteurs, nous avons montré que des projets de conception modulaires peuvent jouer un rôle de mobilisateur et de coordinateur des unités élémentaires de compétences que constituent les communautés de concepteurs. Sous l'angle de cette configuration située, les stratégies modulaires dans la conception permettent de concilier l'autonomie des communautés de concepteurs et la cohérence d'ensemble du projet de conception. Dans une vision de création de ressources, les apprentissages localisés et les compétences dynamiques focalisées développés au sein des communautés de concepteurs permettent en effet de générer des codes et des langages communs qui autorisent à la cohérence de l'organisation modulaire dans son ensemble (Cohendet et Diani, 2003).

En conséquence, si les impératifs d'allocation de ressources et de minimisation de coûts de transaction par la standardisation des interfaces et la dé-spécification des actifs demeurent toujours importants, la modularité cognitive remet profondément en cause l'arbitrage transactionnel traditionnel entre centralisation (internalisation) et division (externalisation) des tâches de conception sous la contrainte des coûts de transmission, du recueil et du traitement de l'information. La modularité cognitive devient en effet plus une question d'asymétries de connaissances que d'asymétries d'informations, ce qui pose la prééminence des questions des codes de communication

et des langages organisationnels qui autorisent la division des connaissances au sein de la firme. Une idée principale que nous avons dégagée dans ce travail est que la coordination dans les stratégies de conception modulaire basées sur des communautés de concepteurs se réalise par la mobilisation de canaux de pratiques communes et de communication informelle favorisée par l'extension des technologies de l'information et de la communication au sein des firmes.

L'ensemble de ces réflexions sur la modularité implique de profondes conséquences en termes de management. De manière schématique, comme le soulignent Amin et Cohendet (2004), deux formes de management pour gérer les projets de conception peuvent être envisagés: d'une part, le management « par design » qui repose sur une vision « top down » où la hiérarchie décide *a priori* de l'architecture des activités (et donc dans ce cadre de la plate-forme cognitive autour de laquelle se coordonnent ensuite les différents modules) et décide aussi si nécessaire des moments où une remodelarisation s'impose, et d'autre part, un management « par les communautés » où la distribution des activités qui aboutit à une architecture modulaire repose sur une interaction directe entre communautés. Dans cette perspective « bottom-up », le rôle de la hiérarchie est déplacé sur un besoin « *ex-post* » de sélectionner et de valider (« énoncé »), parmi la variété de formes et de designs produits par la structure modulaire auto-organisée, les formes et designs qui seront finalement retenus par l'organisation. Le choix entre un type de management par design et un management par communautés est naturellement critique pour ce qui est de la pertinence et

de l'efficacité de la solution modulaire. Cette perspective ouvre de larges opportunités pour des recherches futures. On peut à ce stade simplement suggérer que ce choix critique dépend fortement de la culture

d'entreprise, du plus ou moins grand cloisonnement des communautés les unes par rapport aux autres, ou de l'histoire même des différents processus modulaires entrepris par l'organisation.

BIBLIOGRAPHIE

- Abecassis-Moedas C., Ben Mahmoud-Jouini S., Paris T., « Savoirs d'interaction et recombinaison des filières de conception », *Revue française de gestion*, vol. 30, n° 149, 2004, p. 69-84.
- Amin A., Cohendet P., *Architectures of Knowledge: Firms, Capabilities and Communities*, Oxford University Press, 2004.
- Argyres C., "The impact of information technology on coordination: Evidence from the B2 stealth bomber", *Organization Science*, 1999.
- Baldwin C. Y., Clark K. B., "Managing in an age of modularity", *Harvard Business Review*, vol. 75, n° 5, September-October 1997, p. 84-93.
- Baldwin C. Y., Clark K. B., *Design Rules: The Power of Modularity*, Cambridge, MA, MIT Press, 2000.
- Belleval C., "Faster Conception of Radically Innovative Systems: the Strategic and Organizational Challenge for Space Agencies", *The Journal of Space Policy*, vol. 18, n° 3, 2002, p. 215-219.
- Burns T., Stalker G. M., *The management of innovation*, Tavistock, 1966.
- Brooks F. P., *The Mythical Man-Month: Essays on Software Engineering*, Reading, Addison-Wesley, 1975.
- Brown J. S., P. Duguid, "Organizational Learning and Communities of Practice: Toward a Unified View of working, Learning and Innovation", *Organization Science*, vol. 2, n° 1, 1991, p. 40-57.
- Brusoni S., Prencipe A., "Unpacking the black box of modularity: Technologies products and organizations", *Industrial and Corporate Change*, vol. 10, 2001, p. 179-205.
- Ciborra C., "The Platform Organization, Recombining Strategies, Structures, and Surprises", *Organization Science*, vol. 7, n° 2, March-April 1996, p. 103-118.
- Cohendet P., Créplet F., Dupouet O., « Innovation organisationnelle, communautés de pratique et communautés épistémiques : le cas de Linux », *Revue française de gestion*, vol. 29, n° 146, 2003, p. 99-121.
- Cohendet P., Diani M., « L'organisation comme une communauté de communautés : croyances collectives et culture d'entreprise », *Revue d'économie politique*, vol. 113, n° 5, septembre-octobre 2003, p. 697-721.
- Cusumano M. A., Gawer A., "The Elements of Platform Leadership", *MIT Sloan Management Review*, Spring 2002, p. 51-58.

Fourcade F., Midler C., « La modularité automobile : Enjeux et conditions de mise en œuvre pour les équipementiers de rang 1 », *11^e Rencontre Internationale du GERPISA*, Paris, 11-13 juin 2003.

Hippel E. (von), "Task Partitioning: An Innovation Process Variable", *Research Policy*, vol. 19, 1990, p. 407-418.

Hoetker G., "Do Modular Product lead to Modular Organizations?", Working paper, Department of Business Administration, University of Illinois at Urbana-Champaign, 2002.

Koppl R., Langlois R. N., "Embeddedness, Organizations, and Language Games", Paper for presentation at the MPI/LINK Workshop on *Cognition and Evolution in the Theory of the Firm*, September 25-27, 2000, Jena, Germany, and at the *SCANCOR Conference on "Crossing Boundaries: Economics, Sociology and Organization Theory"*, September 30-October 1, 2000, Stanford, California.

Langlois R. N., "Capabilities and Coherence in Firms and Markets", Paper for the Conference on *Evolutionary and Resource-based Approaches to Strategy*, 1993, Copenhagen.

Langlois R. N., "Modularity in technology and organization", *Journal of Economic Behavior & Organization*, vol. 49, 2002, p. 19-37.

Langlois R. N., "The Vanishing Hand: The Changing Dynamics of Industrial Capitalism", *Industrial and Corporate Change*, vol. 12, n° 2, 2003, p. 351-385.

Lave J., Wenger E. C., *Situated Learning: Legitimate Peripheral Participation*, Cambridge University Press, New York, 1990.

Lawrence P. R., Lorsch J. W., *Organization and Environment*, Harvard Business School Press, 1967.

Lorino P., « Le pilotage de l'entreprise : de la mesure à l'interprétation », *Cohérence, Pertinence et Evaluation*, Cohendet P., Jacot J.H., Lorino P. (Eds), ECOSIP, 1996.

Midler C., *L'auto qui n'existait pas. Management de projets et transformation de l'entreprise*, Paris, InterEditions, 1993.

Mintzberg H., *Structure et Dynamique des organisations*, Les Éditions d'Organisation, 1982.

Musca G., « Construction de compétences et environnement turbulent. Le cas d'équipes-projet Internet », *Revue française de gestion*, vol. 30, n° 149, 2004, p. 117-131.

Parnas D. L., "On the criteria for decomposing systems into modules", *Communications of the ACM*, vol. 15, n° 12, 1972, p. 1053-1058.

Sako M., Murray F., « Automobile, informatique et stratégie modulaire », *Les Echos*, Dossier « L'art de la stratégie », 2002, <http://www.lesechos.fr/>

Sanchez R., Mahoney J., "Modularity, Flexibility, and Knowledge Management in Product and Organization Design", *Strategic Management Journal*, vol. 17, Winter Special Issue, 1996, p. 63-76.

Simon H. A., "The Architecture of complexity", *Proceedings of the American Philosophical Society*, 1962, p. 467-482. Reprinted in *The Sciences of the Artificial*, 2nd ed., Cambridge, MIT Press, 1981.

SCANIA PRESS info P04705FR/Per-Erik Nordström, juillet 2004. www.scania.com/Images/P04705FR%20Powertrain%20options_tcm10-60853.doc

Sturgeon T., "Modular production networks: a new American model of industrial organization", *Industrial and Corporate Change*, vol. 11, n° 3, 2002, p. 451-496.

Ulrich K. T., "The role of product architecture in the manufacturing firm", *Research Policy*, vol. 24, 1995, p. 419-440.

Wenger E., "Communities of Practice: Learning as a Social System", *Systems Thinker*, June, 1998.

Wenger E.C., Snyder W. M., "Communities of Practice: The Organizational Frontier", *Harvard Business Review*, vol. 78, n° 1, January-February, 2000, p. 139-145.