



COMMENT LA PRODUCTION MODULAIRE TRANSFORME L'INDUSTRIE AUTOMOBILE

Vincent FRIGANT et Bernard JULLIEN*
GREThA UMR CNRS 5113, Université de Bordeaux
GERPISA-ENS Cachan

 **Mots clés :** Automobile, modularité, modularisation, restructuration des industries, hypothèse miroir, relation technologie-organisation.

 **Keywords:** Modularity, Modularisation, Industries Transformations, Mirroring Hypothesis, Technology-Organisation Relationship.

1. INTRODUCTION

Depuis la fin des années 1990, l'industrie automobile s'est engagée dans un processus de mise en modularité des produits qu'elle réalise : voitures particulières et véhicules utilitaires légers. Définie pour l'instant de manière générale, la modularité relève d'une règle de conception (*design*) visant à concevoir l'architecture d'un produit en une série de sous-systèmes hiérarchiquement emboîtés, reliés les uns aux autres par des interfaces,

* Les auteurs tiennent à remercier les participants au workshop « Manufacturing Renaissance? Structural changes and consequences for industrial Economics », organisé par le Dipartimento di Economia e Management, Università di Ferrara (Italie) les 17-18 mai 2013, pour leurs remarques et commentaires. Nous remercions en particulier Patrizio Bianchi et Sandrine Labory pour leur invitation au workshop.

physiques et informationnelles, stabilisées et le moins nombreuses possibles. L'objectif premier d'une telle architecture est de réduire la complexité systémique (Simon, 1962) et, à ce titre, elle a d'abord attiré l'attention des ingénieurs d'autant plus intéressés par ces principes que le progrès technologique conduit à sophistiquer les produits et surtout à intégrer des technologies de nature différente dans un même produit final (par exemple dans l'automobile croisement des technologies mécanique et électronique).

Toutefois, la problématique de la modularité ne se réduit pas à des enjeux technologiques. L'évolution de l'architecture produit requestionne l'organisation même de l'industrie. Expliquer comment et pourquoi constitue l'objectif de cet article.

D'un point de vue théorique, la question de l'impact organisationnel de la modularité peut être rattachée aux travaux interrogeant la relation technologie-organisation. Ainsi, une partie des analyses sur les *dominant designs* a repris la notion d'architecture, dans la lignée de Henderson et Clark (1990), afin de préciser la définition d'un *dominant design* et de mieux expliciter la dynamique des cycles technologiques internes à un produit global (Tushman, Murmann, 1998 ; Murmann, Krenken, 2006). C'est toutefois au sein d'une littérature spécifique que la question a davantage été explorée. C'est à ce second courant que nous nous rattacherons dans ces lignes.

Le point de départ de ces approches se situe dans l'ouvrage de Baldwin et Clark (2000) qui montrent comment le choix d'IBM, en 1961, de concevoir un ordinateur modulaire a radicalement modifié la trajectoire organisationnelle de l'industrie informatique. En concevant une architecture produit modulaire, l'informaticien a rendu possible un approfondissement de la division du travail (interne à la firme dans un premier temps) qui s'est ensuite traduit par une externalisation croissante au profit de start-up et spin-off dont certaines ont grandi (comme Microsoft ou Intel). Finalement, selon leur relecture de l'histoire de l'industrie informatique, la structure industrielle contemporaine (y compris dans sa dynamique actuelle) se situe dans son ADN modulaire.

L'informatique doit cependant être traitée comme un cas particulier pour deux raisons. D'une part, parce que l'adoption de l'architecture modulaire

fut réalisée alors que l'industrie n'était qu'émergente. Par opposition, nous y reviendrons, l'adoption de la modularité dans l'automobile se fait au sein d'une industrie mature, largement structurée d'un point de vue économique et technologique. D'autre part, la thématique de la modularité amène à considérer les propriétés technologiques des produits. Et, à ce niveau, un ordinateur possède des caractéristiques techniques qui sont et demeurent fondamentalement distinctes de celles d'une automobile, d'un avion, d'un missile, etc. Bref, si les travaux sur la modularité cherchent à caractériser des mécanismes généraux de transmission du fait technologique au fait organisationnel, il convient de ne pas négliger les spécificités sectorielles. Dans cette perspective, le cadre analytique actuellement dominant consiste à réfléchir en termes d'hypothèse miroir (Colfer, Baldwin, 2010 ; Campagnolo, Camuffo, 2010). Évitant le piège d'un déterminisme technologique (dans lequel certains travaux initiaux en termes d'isomorphisme organisationnel avaient pu tomber [Sanchez, Mahoney, 1996]), il s'agit d'appréhender les relations entre architecture produit et architecture organisationnelle en reconnaissant que les mécanismes de transmissions sont pluriels (organisationnels, institutionnels et non exclusivement technologiques) et que causalités circulaires et formes de congruence existent. C'est dans cette perspective plus complexe que nous allons étudier les manières dont le transfert du concept de modularité à l'automobile a contribué à transformer sa trajectoire industrielle.

Dans une première partie, nous reviendrons sur le concept de modularité afin de préciser la manière dont il se décline dans l'automobile. Ensuite, nous montrerons comment l'architecture industrielle s'est transformée, puis comment les constructeurs renouvellent actuellement les architectures en voie de modularisation.

2. ARCHITECTURE MODULAIRE : PRINCIPES ET APPROPRIATION DANS L'AUTOMOBILE

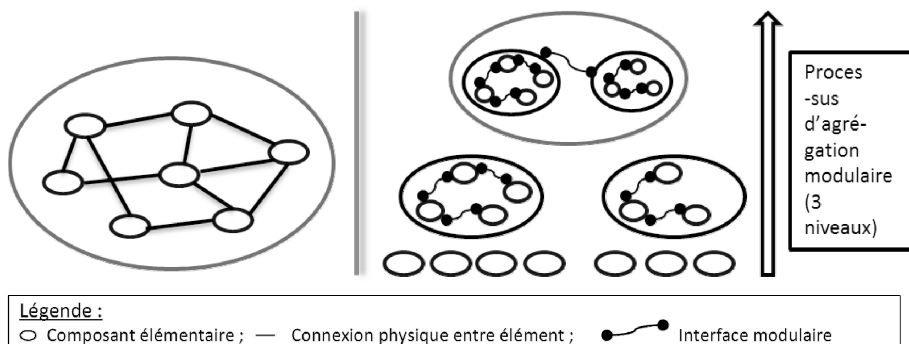
Depuis sa conceptualisation initiale par Simon (1962), la modularité a donné lieu à plusieurs définitions dont la plus reprise est sans doute celle d'architecture produit proposée par Ulrich (1995). Après avoir explicité ses contours, nous expliquerons comment l'automobile s'est approprié le concept initial et insisterons sur son interprétation procédurale.

2.1. Gestion de la complexité et quasi-décomposabilité

La modularité vise à réduire le degré de complexité qui affecte tout système technique complexe par deux biais. Un biais quantitatif qui provient du nombre de composants qui contribuent à la fonctionnalité du système global. Un biais qualitatif qui découle de la nature des interactions physiques et informationnelles qu'entretiennent entre eux les composants. Concevoir une architecture modulaire consiste à travailler sur ces deux niveaux 1) en reconcevant les composants sous forme de modules agrégeant des composants élémentaires et surtout correspondant à des unités fonctionnellement autonomes et 2) en concevant des interfaces qui cristallisent les interactions entre modules. Selon Ulrich (1995), une architecture est modulaire dès lors que les modules constituent des entités fonctionnelles autonomes (une fonction = un module, ce qu'on dénomme *mapping one-to-one*) et lorsque les interfaces sont préalablement fixées : l'architecture générale est définie, les règles d'interactions également, et les équipes/firmes développent alors indépendamment les modules intégrés au système global.

La figure 1 illustre de manière simplifiée l'opposition canonique entre architecture modulaire et son contraire, architecture intégrale. Dans cette dernière, le produit système est la somme de composants élémentaires mutuellement en interaction et redéfinir un composant implique de reconsidérer la manière dont il interagit avec les autres, et *de facto*, l'architecture générale. Dans l'architecture modulaire, une hiérarchie des sous-systèmes a été conçue de sorte que le produit global n'est désormais plus que la somme de deux modules reliés par une interface spécifiée *ex ante*.

Une telle architecture présente trois grands avantages. En premier lieu, la phase d'intégration finale est simplifiée puisqu'elle ne consiste plus qu'en l'assemblage de deux modules et non d'une multitude d'éléments séparés. En deuxième lieu, la stabilisation des interfaces permet de remplacer un module par un autre (et bien souvent leur performance fonctionnelle et/ou économique, par exemple en modifiant un matériau entrant dans la constitution des composants) par un simple jeu de substitution. En troisième lieu, elle suscite une diachronie des actes tant au niveau de la conception que de la production. Détaillons ce point crucial.

Figure 1. Architecture intégrale vs architecture modulaire

Dans une architecture modulaire, l'acte de conception se décline en trois temps distincts et, nous y reviendrons, potentiellement, en plusieurs acteurs. Tout d'abord, l'architecte du produit définit l'architecture générale du produit qu'il souhaite réaliser au double plan fonctionnel et physique. Il définit un cahier des charges fonctionnel du produit global qu'il décline en fonctionnalités modulaires. Il procède de même pour la description physique du produit. Ensuite, il définit les interfaces qui assurent la mise en compatibilité des différents modules, ce qui renvoie aux règles physiques de connexion (comment les modules sont concrètement intégrés entre eux, leurs compatibilités et incompatibilités physiques ; par exemple émission de chaleur, dilatation...) et aux règles de communication entre les modules. Enfin, il diffuse cette double information aux acteurs qui ont en charge de concevoir les modules, ce que nous appellerons l'architecture détaillée du produit (composants constitutifs et leurs interactions).

L'acte de production recouvre une dissociation temporelle symétrique. Dans une architecture intégrale aussi simplifiée que celle de notre figure, tous les composants doivent être fabriqués simultanément, livrés et intégrés au même moment sur une chaîne unique de production. Dans le schéma modulaire, la logique même de hiérarchie emboîtée suggère une séquentialité des moments entre assemblage final, fabrication/livraison des différents modules et réalisation des composants.

Dès lors, on perçoit que l'architecture modulaire déborde d'une dimension purement technologique car la double dissociation temporelle comporte une charge organisationnelle flagrante. Précisons-la.

2.2. De l'approfondissement de la division du travail au recentrage de la firme architecte

Une architecture modulaire permet d'approfondir la division du travail. Une fois définie l'architecture générale et les interfaces, il est aisé de confier la conception détaillée des modules à des équipes dédiées. C'était d'ailleurs un des objectifs affichés par IBM dans le choix de l'architecture du 360 (Baldwin, Clark, 2000). En effet, les équipes auxquelles on confie la conception d'un module possèdent toute la structure informationnelle pour mener leur travail indépendamment des autres équipes et de l'architecte : elles possèdent les données physiques sur leurs modules et la manière dont ils s'interfacent avec les autres modules et le système global. Certes, on peut supposer surtout lorsque l'architecture générale émerge que des interactions denses entre équipes existent pour finaliser le mode de fonctionnement des interfaces et corriger des interactions physiques inattendues (ceci expliquera les retards de l'IBM360 d'ailleurs), mais globalement l'architecture modulaire est censée fournir toutes les données pertinentes pour un travail séparé et indépendant entre équipes en charge d'un module singulier. En outre, une fois l'architecture éprouvée, celle-ci pourra être reconduite d'un modèle à l'autre : la modification des modules suffit à assurer une amélioration des performances technologiques et économiques des produits auxquels on peut ajouter certains sauts technologiques dans la définition des interfaces.

Cette description renvoie singulièrement bien à l'histoire de l'industrie informatique dont les produits progressent incrémentalement par amélioration des modules (lecteur de disquette remplacé par un lecteur de CD-Rom puis de DVD) et par quelques ruptures d'interfaces (port PCL remplacé par port USB, etc.).

D'un point de vue organisationnel, la stabilisation des interfaces limite les risques de dysfonctionnements cognitifs et donc facilite la division cognitive du travail. Si ceci constitue une condition nécessaire à l'externalisation, l'externalisation et la désintégration verticale de la firme architecte s'enclenchent par la mise en œuvre de quatre mécanismes complémentaires.

En premier lieu, l'architecture modulaire stabilise le marché, et ce d'autant plus que les architectes publicisent largement les caractéristiques de l'architecture (générale et interfaces) afin de susciter la concurrence chez les offreurs. Ce mécanisme structure le marché et fixe les normes de la rivalité concurrentielle dans l'industrie. En effet, et en deuxième lieu, la dynamique concurrentielle s'oriente vers la création d'innovations sur les modules (amélioration et création de nouveaux modules qui viennent se greffer à l'architecture générale) de sorte que de nouveaux entrants viennent nourrir l'industrie. En troisième lieu, l'extension de la taille du marché, selon des mécanismes très classiques d'économie d'échelle (et de gamme), améliore le différentiel de coûts de production chez les fournisseurs de modules aux dépens d'une stratégie d'internalisation. Enfin, à la fois parce que le marché s'étend et parce que les interfaces cristallisent l'information utile, les coûts de transaction s'abaissent car les actifs perdent en spécificité (Velo, Fixson, 2001) et car les coûts de communication inter-firmes s'amenuisent d'autant plus que les TIC suffisent pour échanger des connaissances transformées en information (Sanchez, Mahoney, 1996). Au total, la modularité réduit les coûts d'une gouvernance externalisée (contrainte cognitive, coûts de transaction...) tout en générant des avantages propres à celle-ci (rivalité concurrentielle exacerbée, innovations, économies d'échelle et de gamme...). Ce puissant effet de ciseau milite pour une désintégration verticale poussée (Langlois, 2003).

Là encore, l'informatique illustre bien cette dynamique industrielle. Partant de l'IBM360, des start-up émergent pour proposer initialement de nouveaux modules ou des modules plus performants (cas du système d'exploitation de Microsoft) à l'informaticien. Ce dernier commence à externaliser la réalisation desdits modules pendant que de nouveaux constructeurs émergent en profitant de la réduction des barrières à l'entrée dont ils bénéficient grâce à l'existence d'une architecture connue et à l'existence d'offeurs de modules. Ensuite, à l'image du modèle de simulation de Ethiraj, Levinthal et Roy (2008), les dynamiques s'emballent, rendant de moins en moins pertinentes les solutions internalisées au fur et à mesure que l'industrie se dote de fournisseurs spécialisés sur chaque type de modules.

Sans détailler davantage, ce qui nous éloignerait de notre propos, notons quelques points clés pour la suite. En premier lieu, il faut prendre en

compte le moment historique où émerge la modularité. L'architecture produit apparaît dans une industrie nouvelle faiblement structurée et dont la taille du marché est encore balbutiante. Autrement dit, la trajectoire de l'informatique est quasiment vierge lorsqu'elle choisit l'architecture produit modulaire. En deuxième lieu, le modèle général souffre d'exceptions. Des stratégies alternatives ont perduré pendant une période relativement longue, comme l'illustre le choix de l'intégration verticale et de la fermeture de ses interfaces par Apple durant deux décennies. En outre, tous les ordinateurs ne sont pas construits selon cette logique et les modèles les plus complexes ainsi que certains prototypes sont intégraux et leur production internalisée (Sturgeon, 2003). Le même auteur observe en outre que la Silicon Valley a offert une configuration unique pour mettre en place le couple architecture modulaire/externalisation grâce à l'exceptionnelle concentration spatiale de moyens intellectuels tournés vers la conception d'architecture visant à approfondir l'externalisation. Enfin, technologiquement, et ceci est en partie la conséquence du point précédent, les produits informatiques sont d'une complexité relativement faible selon un critère de combinaison des bases de connaissances. Et c'est à ce niveau que la limite d'une généralisation transectorielle des architectures modulaires conduisant à la désintégration verticale apparaît en premier lieu.

Au début des années 2000, des auteurs travaillant sur des Complex Product Systems (CoPS) (combinant des domaines technologiques dissemblables) soulignent que la désintégration verticale n'est pas une solution efficace (Brusoni, Prencipe, 2001 ; Brusoni, Prencipe, Pavitt, 2001 ; Hobday, Davies, Prencipe, 2005). Pour ces produits, plusieurs problèmes sont soulevés réduisant les velléités d'externaliser : en particulier, réduction de la capacité d'absorption chez l'architecte et risque de figer l'évolution radicale du produit (Brusoni, Prencipe, Pavitt, 2001), entrée horizontale sur le marché de nouveaux concurrents, stratégie de verrouillage et bottleneck chez les offreurs de modules (Mouchino, Sautel, 2007 ; Fixson, Park, 2008). Cette littérature se montre sceptique envers la modularité à deux niveaux : d'une part, la possibilité même de généraliser des architectures produits de type modulaire dans toutes les industries ; d'autre part, elle conteste une partie des conclusions concernant les mécanismes de transmission du fait technologique au fait organisationnel. Reste que cette position est ambiguë car, tout comme les travaux sur la modularité pure, ces auteurs considèrent la modularité comme un état. Les débats se focalisent

sur une architecture achevée et non pas sur son processus d'émergence. Processus qui guide les comportements des agents. Dans un article récent, McDuffie (2013) insiste sur la nécessité de considérer cette distinction. Il propose le terme de « Modularity-as-a-frame » qui synthétise notre proposition : la mise en modularité est un objectif pour certaines industries et, à défaut d'être une architecture atteinte et atteignable, elle structure le modèle de conception du produit, ce qui contribue à former la trajectoire de l'industrie. C'est ce que nous observons dans l'automobile.

2.3. La mise en modularité de l'automobile : l'imperfection d'une architecture modulaire en cours de modularisation

On a souvent avancé que l'automobile relève des *Complex Product Systems*, mais à partir d'un argument fondamentalement technologique tenant à la manière dont se conçoit une automobile (Sako, 2003 ; Takeishi, Fujimoto, 2003). L'argument mérite d'être explicité, car certes l'automobile est un produit imparfaitement modulaire du point de vue de son architecture, mais il n'empêche qu'elle connaît un processus de mise en modularité ou *modularisation*.

Du point de vue de l'architecture produit, l'automobile est imparfaitement modulaire à cause d'un fort degré d'interdépendance systémique. Le problème se saisit en statique, en « statistique comparative » et en dynamique. En statique, les propriétés fonctionnelles attendues d'une automobile impliquent une interdépendance de quasiment tous les éléments d'un véhicule de sorte qu'atteindre la propriété d'indépendance entre modules est (quasiment) impossible. Deux niveaux sont en jeu ici. Tout d'abord, une automobile est plurifonctionnelle : certes, il s'agit de se déplacer mais également de procurer un certain statut, d'offrir (ou pas) des loisirs à bord, de la communication externe, etc. Ensuite, ces différentes sous-fonctions se matérialisent par différentes unités physiques qui sont en interdépendance mutuelle dans le sens où modifier une unité requiert de modifier les autres. Par exemple, la tenue de route est déterminée par l'empâtement du châssis, mais également la position du centre de gravité de la voiture : dès lors que l'on change de manière significative la masse d'un élément, ce centre de gravité évolue, amenant à reconcevoir l'empâtement,

les caractéristiques des pneumatiques, la puissance du moteur et la transmission, les amortisseurs, etc. Bref, les jeux d'interaction entre les éléments sont si nombreux que concevoir une architecture respectant les propriétés élémentaires d'indépendance et d'autonomie fonctionnelle des éléments est impossible. En « statique comparative », c'est l'impossibilité de concevoir une architecture déployable sur plusieurs modèles qui est en cause. Certes, les constructeurs ont pour la plupart conçus des plates-formes¹ sur la base desquelles ils déclinent plusieurs véhicules, mais celles-ci ne constituent que des briques élémentaires sur lesquelles ils doivent adapter et reconcevoir la plupart des éléments. En dynamique, le problème provient du progrès technologique qui conduit à des substitutions dans les matières, les composants, les technologies de communications entre éléments (électrique vs hydraulique pour prendre un exemple caricatural), les procédés de production... Ceci explique que d'un modèle à un autre les propriétés physiques et informationnelles des éléments se modifient. Comme l'observent Brusoni, Prencipe et Pavitt (2001), les rythmes différenciés des progrès technologiques dans les éléments empêchent de figer les architectures produits au risque de créer des interactions inattendues dysfonctionnelles.

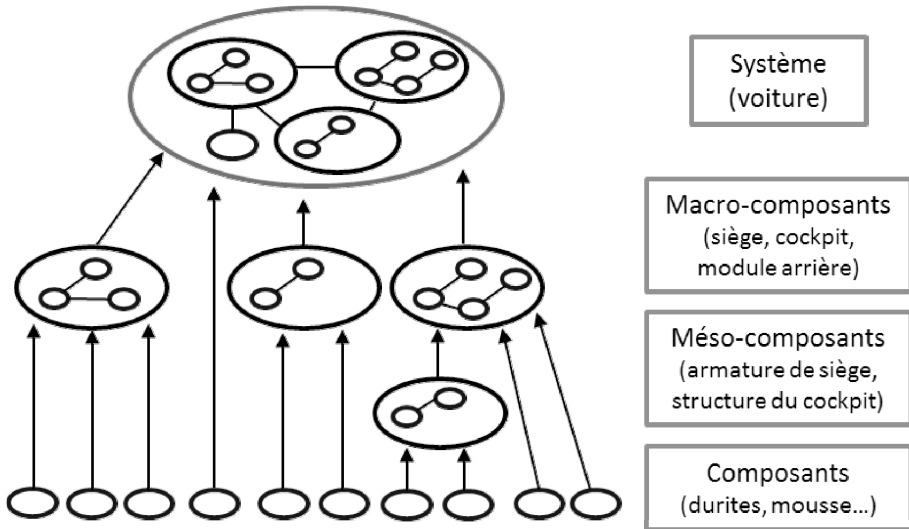
Face à ces problèmes technologiques, on serait tenté de dire que l'automobile n'est pas un produit modulaire et, en quelque sorte, que le dossier est clos. Une telle proposition est néanmoins abusive, car il existe bien une *démarche modulaire*. L'automobile a adopté des principes modulaires que l'on peut comprendre en revenant sur leur origine/genèse. Dans l'informatique, l'architecture a été modularisée primitivement selon un objectif-produit. Il s'agissait de rompre avec l'architecture intégrale qui ne permettait pas un usage suivi du produit. Autrement dit, c'est pour des motifs de marché et de diffusion du produit qu'a été conçu l'ordinateur modulaire. Dans l'électronique, c'est également pour des raisons liées directement au produit (progrès rapide des composants constitutifs) que l'architecture a été modularisée (Langlois, Robertson, 1992). Dans l'automobile, la démarche modulaire trouve ses fondements dans une volonté d'optimiser le processus de production (McDuffie, 2013) : les constructeurs cherchent à raccourcir les cycles et à externaliser davantage pour gagner en flexibilité.

1 La notion de plate-forme dans l'automobile correspond à l'architecture générale du produit, son système de propulsion (moteur et transmission) et son soubassement (essieux, liaison au sol...).

Ceci se traduit par une traduction de la notion de modularité différente en motivation, mais similaire en esprit.

La mise en modularité s'effectue par la création de macro-composants (Volpato, 2004). L'industrie renonce à deux propriétés clés de la modularité : le *mapping one-to-one* et l'indépendance absolue entre éléments. Il s'agit de concevoir des voitures comme des sous-ensembles physiquement compacts, mais plurifonctionnels, connectés par des interfaces instables d'un modèle à l'autre. On parle alors de module arrière, de module avant, siège, portière, cockpit, etc. Certes, les composants élémentaires n'ont pas disparu mais tout le travail des firmes consiste à réduire leur nombre en vue de concevoir des « briques » assemblables (en production). McAlinden et al. (1999) fournissent l'exemple du macro-composant cockpit qui était chez un constructeur réalisé à partir de 104 éléments différents assemblés en 22,4 minutes ; modularisé, il ne s'agit plus que d'un élément unique assemblé en 3,3 minutes. Pour le vice-président de GM, l'automobile devient « *like the definition of a Lego set* » (*Financial Times*, January 28, 2004 cité in Klier, Rubinstein, 2008, p. 18).

La dimension modulaire de ces macro-composants se saisit à deux niveaux. D'une part, d'un point de vue architectural, il s'agit de concevoir une architecture emboîtée de sous-systèmes : un macro-composant livré directement au constructeur sous forme de module unique (dédié au constructeur), un second niveau correspondant à des méso-composants (architecture générique à partir de laquelle sont spécifiés les modules dédiés), des composants élémentaires constitutifs des premiers et deuxièmes (cf. figure 2). D'autre part, les constructeurs et fournisseurs de modules revoient leur processus de conception en considérant que figer les interfaces est au cœur de leur travail. Bien qu'instables d'un modèle à l'autre, raisonner en termes de fixation des interfaces devient une des clés de la conception. Elle devient une étape pleine de la conception bien que, selon les constructeurs, elle se réalise différemment (Cabigiosu, Zirpoli, Camuffo, 2013).

Figure 2. Déclinaison du concept de modularité dans l'automobile

2.4. Les transformations des architectures organisationnelles chez les constructeurs

À la fin des années 1990, le travail de reconception des éléments pour les transformer en macro-composants s'accélère (Autobusiness, 2004) et ses effets sur l'organisation des constructeurs se dessinent clairement.

Un premier point notable concerne l'amplification du mouvement d'externalisation et la réduction du nombre de fournisseurs directs. Ce qu'on appelle la pyramidalisation de la chaîne d'approvisionnement. Pour les constructeurs occidentaux, le premier processus s'était amorcé à partir des années 1980, mais il s'accélère de sorte que de nos jours on estime que le coût des achats représente de l'ordre de 75 et 90 % du prix de revient fabrication selon les modèles. Chez un constructeur généraliste comme FIAT, la part de la production externalisée passe ainsi de 50 % à 72 % entre 1982 et 2000 et la part de la conception de 30 % à 72 % (Whitford, Enrietti, 2005). Entre 1987 et 2001, le même FIAT réduit le nombre de ses fournisseurs directs de 1 200 à 330 ; mouvement que l'on retrouve chez tous les constructeurs (entre 1986 et 2000, PSA réduit ses fournisseurs directs de 1 229 à 500 ; BMW de 1 400 à 600 ; Ford de 2 400 à 1 200 ; Chrysler de 3 000 à 600) (*ibid.* ; Veloso, Kumar, 2002).

Une des conséquences de cette externalisation croissante concerne la reconfiguration des usines. La plupart des sites (à volume et nombre de modèles équivalents) sont restructurés afin de réduire les surfaces occupées pendant que le nombre de salariés diminue, donnant parfois l'impression de friches. Les usines nouvelles ou celles reconstruites sont plus compactes et d'autant moins dotées de personnels qu'elles sont plus automatisées². Parfois, cette réduction de la taille des usines s'effectue en trompe-l'œil. En effet, les sites nouveaux ou modernisés sont souvent dotés de parcs fournisseurs où se localisent des unités de production externalisées destinées à l'assemblage final des macro-composants, voire dans certains cas à l'intérieur même des usines des constructeurs (le cas de l'usine de Smart à Hambach est frappant avec davantage d'ouvriers des fournisseurs que du constructeur présents au sein même de l'usine). Initié au Brésil où s'engagent les premières expérimentations en grandeur nature de la modularisation (Lung et al., 1999), le modèle se diffuse au reste du monde au fur et à mesure que l'automobile modularisée se généralise. Les motifs de cette concentration spatiale sont de trois ordres : assurer la coordination logistique dans une industrie où la tension des flux est cruciale, favoriser l'apprentissage inter-organisationnel, lutter contre les risques de prises d'otages bilatérales dans un contexte de spécificité de site des actifs (Frigant, Lung, 2002).

Les centres de conception sont également reconfigurés. Le centre de Renault-Guyancourt ouvert en 1998 illustre ce mouvement d'une recomposition des sites visant à regrouper l'ensemble des métiers autour de projets et rompre avec une division tubulaire des tâches (Carrincazeaux, Lung, 1998). Un autre objectif est d'intégrer physiquement les équipementiers aux équipes de conception des constructeurs. Les plateaux de conception se généralisent : il s'agit de créer une co-localisation de tous les acteurs impliqués dans le projet le temps de mener celui-ci à terme.

Que ce soit en production ou en conception, on perçoit que la désintégration (capitaliste) verticale empruntée par l'externalisation semble posséder sa propre limite : les firmes doivent créer de nouveaux dispositifs pour pallier les risques d'incohérence dans les flux productifs ou cognitifs. La

2 L'histoire du site PSA Sochaux illustre bien cette modernité du couple compacité/externalisation qui succède au modèle des méga-usines intégrées verticalement (Belot, Lamard, 2007).

co-localisation en production et en conception constitue une forme de réintégration concrète entre des personnels relevant désormais d'employeurs différents, mais qui sont condamnés à travailler de conserve et dont l'efficacité commande qu'ils adoptent des modes de fonctionnement partagés. Réintégrer concrètement les fournisseurs est essentiel, car ils occupent désormais un rôle majeur et croissant dans l'industrie automobile.

3. LA TRANSFORMATION DE L'ARCHITECTURE INDUSTRIELLE

La notion d'architecture industrielle renvoie à la composition des acteurs présents dans l'industrie étudiée et à la manière dont structurellement et fonctionnellement ils s'agencent les uns avec les autres (Jacobides, Knudsen, Augier, 2006). Contrairement à la notion de structure de l'industrie, il s'agit de conjuguer caractéristiques des agents (leurs *capabilities* et leurs comportements) et règles de gouvernance inter-firmes dans une perspective d'*industrial dynamics*. Le parallèle formel avec la notion d'architecture produit n'est pas le fruit du hasard, car en mobilisant cette notion, il est analytiquement possible de travailler l'hypothèse d'une homologie entre architecture produit et organisation de l'industrie : les entreprises constituent l'équivalent fonctionnel des modules et le système de coordination inter-firmes l'équivalent fonctionnel des interfaces.

3.1. La transformation de l'objet échangé et l'émergence des mega-suppliers

La croissance de l'externalisation ne s'est pas faite de manière homothétique : il s'est agi d'externaliser davantage certes, mais des objets différents. Cette rupture va bouleverser l'architecture industrielle dans le sens où le type d'acteurs présents diffère ainsi que leurs fonctions dans les chaînes de valeur.

La création des macro-composants s'est traduite par une profonde évolution de l'objet de l'échange entre donneurs et preneurs d'ordres. Brièvement, durant la période pré-modulaire, les constructeurs achetaient essentiellement des composants, des matières, recouraient à la sous-traitance (travail

à façon notamment) ainsi que quelques sous-ensembles. Cet ordre s'est globalement inversé : l'essentiel des achats concerne désormais des macro-composants (les sièges constituent souvent le principal poste d'achat chez les constructeurs), des matières (sidérurgiques essentiellement), des composants (électroniques notamment), et les activités de sous-traitance (sur spécification ou à façon) sont devenues marginales en volume.

Cette transformation dans la composition de l'objet de l'échange s'est effectuée en outre dans un contexte d'internalisation croissante où les constructeurs ont demandé/exigé de leurs fournisseurs de macro-composants qu'ils les accompagnent et les approvisionnent en macro-composants identiques dans toutes les usines du monde où ils fabriquent tel ou tel modèle de véhicule. Dans les faits, les équipementiers ne suivront pas forcément les constructeurs (la taille du marché, l'enjeu stratégique du constructeur pour le preneur d'ordres, les barrières à l'entrée peuvent limiter l'implantation des fournisseurs), mais néanmoins l'orientation est donnée. Ceci participe d'une consolidation mondiale du marché des principaux macro-composants favorisant les équipementiers traditionnels des constructeurs en croissance au détriment des fournisseurs locaux qui tendent à être évincées des premiers rangs et passent, lorsqu'il n'existe pas de législations protectionnistes à l'instar du Brésil, sous la coupe des grands fournisseurs occidentaux (Humphrey, 2000).

Ces acquisitions à l'étranger illustrent en fait un processus plus général de croissance externe et interne. Une priorité pour les équipementiers est de développer leurs capacités productives et en RD. Au niveau productif, réaliser des macro-composants implique d'assembler de nombreux éléments qu'il s'agit en outre de maîtriser technologiquement, ce qui milite pour un degré d'intégration relativement élevé. En RD, en sus du problème évoqué d'être capable d'intégrer, il s'agit de concevoir les modules, ce qui les amène à développer des compétences technologiques et organisationnelles importantes dont le but est de créer des centres de RD autonomes des constructeurs. D'autant plus que ces derniers souhaitent également externaliser la conception et donc que les équipementiers doivent inventer les macro-composants. Un point commun avec l'informatique est que la conception des modules échappe de plus en plus aux constructeurs au profit des équipementiers qui se lancent d'autant plus rapidement dans la démarche qu'il s'agit de « construire le marché ». Les premiers à dessiner

les macro-composants disposent de l'avantage du premier entrant, mais ils réalisent également en premier les apprentissages technologiques et organisationnels qui construisent des avantages concurrentiels pérennes.

Dans la mesure où le spectre des compétences à développer est important et qu'en plus il convient d'opérer dans un nombre croissant de pays, un important mouvement de fusion/acquisition se développe. Les méga-fusions se multiplient tout au long de la décennie 2000 alors qu'elles étaient davantage nationales lors de la décennie précédente et que les acquisitions d'entreprises plus petites se poursuivent à l'étranger, essentiellement pour accéder à de nouveaux clients, parfois pour accéder à des technologies complémentaires nécessaires à la production des macro-composants³.

Le jeu croisé des forces précédentes s'est traduit par une reconfiguration radicale du statut des preneurs d'ordres mobilisés par les constructeurs avec le développement d'une nouvelle catégorie d'entreprises qualifiées de mega-supplieurs (Donovan, 1999). Ces firmes sont caractérisées par quatre éléments :

- elles sont de taille importante (que ce soit en effectif, en chiffre d'affaires ou encore en nombre d'implantations, cf. Frigant, 2009) et connaissent une croissance forte (sur la période 1999-2010, le chiffre d'affaires moyen des 100 plus grands équipementiers mondiaux a progressé de 76 % – ces chiffres excluent les activités hors automobiles et les pièces de rechange)⁴ ;

3 Il serait trop long d'établir la chronique des fusions/acquisitions : sur la période 1989-2003, nous avons recensé 953 opérations de fusions/acquisitions réalisées par les 30 plus importants fournisseurs de l'époque. Le français Faurecia, neuvième équipementier mondial actuellement, peut illustrer ce fait : il naît de la fusion de Ecia et Faure en 1998, s'est développé en achetant l'américain APAS en 1999 pour 340 M\$, puis le français Sommer Allibert en 2001 (1,5 Mds€), l'américain EMCON technologies en 2009 (350 M\$) et l'allemand Plastal en 2010 (49,9 M€) pour se limiter à ces principales opérations.

4 Pour ne citer que les cinq plus importants mega-supplieurs mondiaux (nous considérons uniquement ici leurs ventes automobiles en première monte en 2011) : Bosch 34,5 Mds€ (soit une croissance depuis 1999 de 121 %) ; Denso 32,8 Mds€ (+161 %) ; Continental 24,8 Mds€ (+410 %) ; AisinSeiki 24,6 Mds€ (+227 %) ; Magna 23,6 Mds€ (+162 %). Source : base de données auteurs à partir données *AutomotiveNews*.

- elles maîtrisent les technologies clés permettant de fabriquer une automobile de sorte que les constructeurs ne peuvent plus indépendamment prétendre concevoir totalement un véhicule et qu'ils sont obligés de les intégrer de plus en plus précocement dans leur processus de développement (Midler, Maniak, Beaume, 2012) ;
- la rivalité concurrentielle entre elles se fonde essentiellement sur l'innovation afin de constituer des rentes d'innovation en proposant aux constructeurs des sous-systèmes novateurs (start & go de Valeo, ABS de Bosch...). Cette rivalité explique que le marché pour nombre d'équipements se structure autour d'oligopoles resserrés (Sutherland, 2005) ;
- elles sont assez fortement intégrées verticalement et pilotent une longue chaîne d'approvisionnement interne et externe structurée de manière pyramidale.

Il ne faut cependant pas en conclure que les constructeurs ont perdu toute initiative. La modularité demeure imparfaite et l'automobile n'est pas un jeu de Lego. Il reste des éléments qui sont directement achetés par les constructeurs et ceux-ci continuent à faire appel à un tissu de petites et moyennes entreprises. Certes, les constructeurs ont pyramidalisé leur chaîne d'approvisionnement, mais celles-ci comportent des interstices dans lesquels s'immiscent les PME et aussi de grandes firmes spécialistes, quelque peu en marge du secteur automobile comme les fournisseurs de composants électroniques, de sorte que la pyramide est davantage de style aztèque qu'égyptienne (Frigant, 2011, Figure 4). En outre, ils continuent à acheter des flux de matières importants au premier rang desquelles l'acier et demain davantage l'aluminium voire les composites. Enfin, un dernier type d'entreprises a vu son rôle se renforcer ces dernières années : les entreprises de RD et d'ingénierie. Pour gérer la complexité croissante du produit automobile et l'insertion de technologies faisant appel à des bases de connaissances nouvelles (par exemple en matière d'électronique, en concepts architecturaux...), les constructeurs (avec des intensités et des priorités différentes) se sont engagés dans l'Open innovation (Chesbrough, 2003). Les collaborations avec des entreprises d'ingénierie spécialisées et avec des laboratoires publics de recherche permettent d'explorer des voies nouvelles sans grever les coûts fixes. Les interrogations sur les nouvelles motorisations, sur les manières de respecter les nouvelles réglementations sécuritaires et environnementales, d'intégrer de nouvelles fonctionnalités

au véhicule (communication et couplage au réseau mobile, divertissement à bord...) constituent autant de renouvellements dans les concepts et les produits que les constructeurs ne pensent pas pouvoir gérer en interne compte tenu de leur routine organisationnelle et de leurs lacunes dans les bases de connaissance utiles.

Au total, les quinze dernières années sont quelque peu paradoxales. D'un côté, l'architecture industrielle s'est profondément restructurée au profit des mega-supplieurs qui sont devenus des acteurs centraux de la filière. De l'autre, émergent de nouvelles entreprises qui participent du renouvellement de la base industrielle. Le point de convergence se situe dans un relatif déclin des constructeurs à demeurer au centre de l'ensemble du dispositif en termes de pouvoir de marché dans la relation verticale et dans la manière dont se conçoit l'automobile.

Figure 3. Organisation typique de la chaîne de valeur d'un constructeur occidental jusqu'aux années 1990

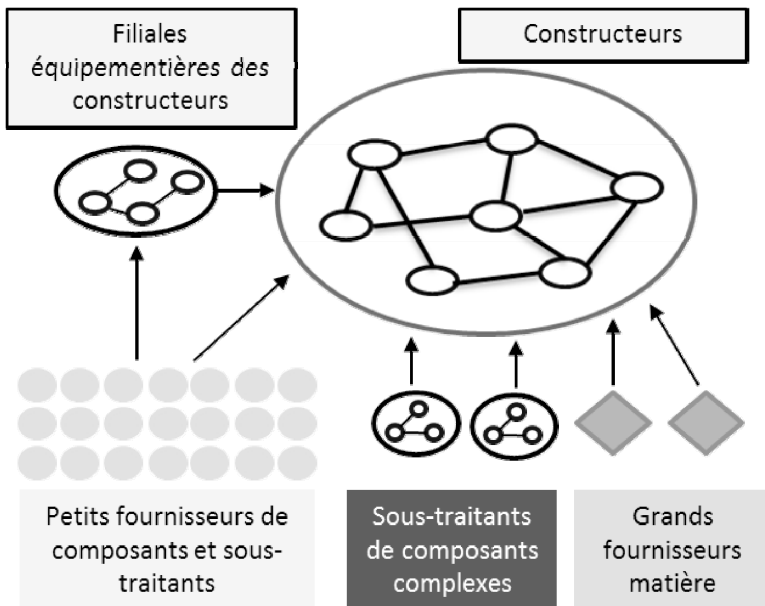
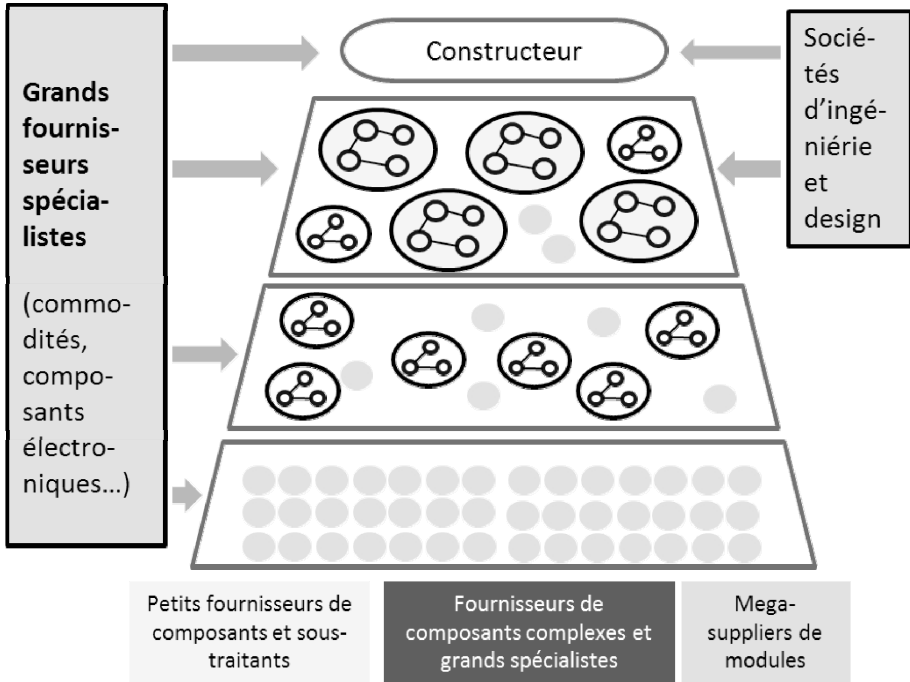


Figure 4. Organisation typique de la chaîne de valeur d'un constructeur occidental de nos jours



3.2. Recomposition géographique des chaînes d'approvisionnement et division internationale du travail

Pour s'adapter à la modularisation, les mega-supplieurs ont profondément modifié leur organisation interne qui, initialement, était conçue pour fournir des composants aux constructeurs et au marché de la rechange. Ils ont dû recomposer leurs divisions internes d'autant plus massivement que les multiples fusions/acquisitions les dotaient de nouvelles unités. Ceci s'est traduit par d'importantes restructurations industrielles : fermetures et ouvertures de sites, spécialisation des usines, mise en réseau des unités... Par exemple, sur la période 2001-2006, l'équipementier français Valeo, a fermé 59 de ses 170 sites, en a ouvert 29, cédé 26 et acquis 13. Si l'objectif premier est d'aligner l'appareil de production et de conception aux nouveaux objets à vendre et aux implantations des clients, ces

recompositions fournissent une opportunité majeure pour modifier la géographie de l'industrie équipementière.

Les analyses de la géographie des mega-supplieurs confirment un large mouvement de relocalisation des appareils productifs, dont la tendance majeure consiste en un déplacement vers l'Est du tissu productif en Europe et vers le Mexique pour les États-Unis (Frigant, 2009 ; Frigant, Layan, 2009 ; Klier, Rubinstein, 2008, 2011). S'il existe dans ce mouvement des stratégies de délocalisations, celles-ci ne sont pas seules en cause car, parallèlement, l'Europe de l'Est et le Mexique deviennent des lieux majeurs d'assemblage des véhicules. En fait, une analyse fine de la nature des sites permet de mettre en évidence que les mega-supplieurs instaurent une division internationale de leur processus productif combinant recherche de localisation dans les pays à bas coûts, consolidation des bases industrielles et de conception dans leurs pays d'origine et recherche d'une étroite proximité avec les centres de RD et les usines d'assemblage des constructeurs.

Nous avons déjà expliqué que la modularisation de l'automobile, contrairement à l'informatique ou l'électronique, favorise la recherche d'une proximité géographique étroite des équipes de conception en charge des modules, mais aussi des unités d'assemblage des macro-composants. Ici, se situe une force centripète solide que confirme la généralisation des *supplieurs parks* et de la co-localisation des équipementiers – temporaire autour d'équipe plateau ou pérenne par l'implantation d'unités de développement. Parallèlement, les mega-supplieurs exploitent la décomposition hiérarchique des macro-composants pour localiser les unités en charge de la production des composants dans des espaces de production à bas coût. En effet, les caractéristiques de ces productions et la manière dont elles s'insèrent dans le processus de production en aval permettent de relâcher les contraintes de proximité géographique que ces activités soient internalisées par le mega-supplieur ou qu'il fasse appel à la sous-traitance. Enfin, les unités des usines de méso-composants tendent à être localisées au barycentre géographique des sites en charge de l'assemblage des macro-composants pour respecter des contraintes d'économie d'échelle, de livraison et d'apprentissage (Frigant, Layan, 2009).

Au total, les mega-supplieurs structurent désormais l'internationalisation de la chaîne de valeur davantage que ne le font les constructeurs. Si

les éléments pour automobile s'échangent peu à une échelle intercontinentale, on observe la création de cluster dans les nouvelles régions productrices d'automobile et une consolidation dans les anciennes tout en assistant à l'approfondissement de la division du travail à l'échelle intracontinentale (Sturgeon, Van Biesebroeck, Gereffi, 2008).

Cette structuration réticulaire sous forme gravitaire (autour des usines des constructeurs et de leurs centres de RD) n'est pas neutre pour les industries nationales. En effet, les délocalisations pour des raisons de coût conjuguées aux relocalisations des sites d'assemblage des constructeurs vers l'Est en Europe, vers le Sud-Est des États-Unis et le Mexique en Amérique du Nord, fragilisent nombre d'espaces mal positionnés. Prenons le cas de la France.

Depuis le pic de 2005, la production en France d'automobiles est en déclin, ce que vient quelque part acter la fermeture du site PSA d'Aulnay. Dans cette perspective, c'est la production de macro-composants et la légitimité des unités qui les produisent qui fait question. Parallèlement, les volumes produits en Espagne et en Italie déclinent également alors que la production à l'Est et en Allemagne augmente : le cœur de l'assemblage d'automobiles se déplacent vers l'Est (Jullien, Lung, 2011 ; Klier, Rubenstein, 2011) entraînant à sa suite les usines produisant les macro-composants et, de plus en plus, les usines produisant les méso-composants. Les différentiels de coût demeurant favorables aux pays de l'Est alors que les unités utilisatrices tendent elles-mêmes à se localiser dans ces espaces (celles produisant des macro- et méso-composants), les mega-supplieurs renforcent leur présence à l'Est tout en faisant davantage appel à des sous-traitants locaux et en demandant à leurs propres fournisseurs de s'y implanter. Au total, les forces convergent pour amplifier les suppressions de sites et d'emplois industriels dans la filière, du moins tant que la production d'automobiles ne se redresse pas en France⁵.

5 Selon la FIEV, depuis le pic de 2002, 47 000 emplois ont disparu dans l'industrie équipementière française (-36 %). Si on prend les effectifs inscrits des mega-supplieurs français, Valeo a supprimé 9 160 emplois en France entre 2002 et 2010 (-38,8 %) alors qu'il les augmentait de 4 792 en Europe de l'Est (+99,8 %) ; Faurecia a parallèlement supprimé 9 965 emplois en France (-40,5 %) alors qu'il construisait de nouvelles unités en Europe de l'Est.

Au total, les mega-supplieurs ont pris une place centrale dans l'industrie automobile parce qu'ils contribuent activement à en définir le futur technologique, parce qu'ils représentent un poids économique important dans la filière directement et indirectement par les injonctions qu'ils donnent au tissu amont, parce qu'ils sont au cœur de la redistribution des localisations et donc des emplois relocalisés à l'échelle continentale. Dans une large mesure, cette transformation de l'architecture industrielle découle de la mise en modularité des années 1990 qui pourrait s'amplifier à l'avenir compte tenu des initiatives en cours chez certains constructeurs.

4. DIALECTIQUE DES ENJEUX STRATÉGIQUES DE LA MODULARISATION CHEZ LES CONSTRUCTEURS

Initialement, les constructeurs ont perçu la modularisation comme une opportunité pour optimiser leur processus de production. Ensuite et très vite, et parce que les mega-supplieurs émergent, elle constitue une formidable opportunité d'accroître le degré d'externalisation et, de ce fait, elle participe du mouvement de désintégration verticale des constructeurs, que ce soit en conception ou en production. Il reste cependant un point sur lequel la modularité ne s'est pas (encore) concrétisée : la fabrication d'une variété de modèles sur la base d'une architecture unique. Tel est l'objectif poursuivi par Volkswagen.

4.1. Recherche voiture modulaire mondiale (désespérément)

Le concept d'architecture modulaire repose sur l'idée qu'il est possible de concevoir une plate-forme sur laquelle se greffent des modules différenciés qui apportent, par un jeu de combinaison, des fonctionnalités différenciées au produit final. Par exemple, une même unité centrale d'un ordinateur peut se brancher sur des écrans de taille et de qualité différentes (l'interface physique et informationnelle représentée par le câble et les logiciels reliant les deux modules étant identiques).

Pour les raisons évoquées plus haut, dans l'automobile, une indépendance similaire entre modules est difficile à réaliser, bien que certains éléments obéissent à une logique proche. Par exemple, un même modèle est offert avec plusieurs motorisations ou encore plusieurs types de selleries. C'est dans cette perspective que Volkswagen et Peugeot Citroën⁶ ont annoncé en 2012 le lancement des premières plates-formes réellement modulaires.

Depuis plusieurs années, Volkswagen s'est engagé dans un objectif de mise en modularité encouragé par sa structure organisationnelle. En effet, Volkswagen possède huit marques commerciales (VW, SEAT, Škoda, Audi, Bentley, Bugatti, Lamborghini, Porsche), à la différence de Peugeot Citroën, clairement différenciées : outre les marques de très grand luxe, Audi, Volkswagen, SEAT et Škoda opèrent sur des marchés prix/qualité différenciés, mais qui se recouvrent, partiellement, en termes de segments (identifiés par la taille et le type de carrosserie⁷). Ce recouvrement a motivé l'engagement de VW dans une démarche de mise en modularité d'abord déclinée comme un partage de plates-formes correspondant chacune à un segment de marché, sur lesquelles se bâtissait la spécificité de chaque marque. L'étape suivante vise à développer des modules qui puissent être utilisés sur plusieurs segments de véhicules. Toutefois, compte tenu des problèmes d'intégrité systémique, cette démarche se heurtait à des contraintes technologiques et le partage d'éléments entre segments demeurerait limité à des segments voisins et pour un nombre limité.

En 2012, le groupe a lancé la plate-forme MBQ (*Modularer Querbaukasten*) qui ouvre une nouvelle ère dans la modularisation de l'automobile en remplaçant d'un seul coup trois plates-formes préexistantes. Copiant l'informatique, il s'agit désormais de concevoir une plate-forme qui est conçue

6 Chez PSA, la plate-forme se nomme EMP2, introduite en 2013 pour la C4 Picasso et Peugeot 308. L'architecture prévoit un bloc amont unique et s'articule autour de trois couples de modules définissant la spécificité des véhicules selon un principe annoncé de *plug and play* : bloc arrière court/long ; poste de conduite haut/bas ; train arrière multibras/traverse déformable ; groupe moto propulseur/adaptation GMP. Grâce à ce jeu de substitution, la plate-forme permettra de construire des SUV, berlines courtes et longues, monospaces, véhicules utilitaires. Si PSA semble aller pour l'instant moins loin que VW dans l'intersegment, la trajectoire est néanmoins proche.

7 L'industrie distingue 8 segments : A [ex. chez Peugeot : 107], A-électrique [Ion], B [206/207/208], C [301/307/308], D [408/5008/405/407], E [807/508], Media van [Boxer], Small van [Bipper/Partner/Expert], SUV [3008/4007/4008].

pour recevoir différents types de modules partagés. Quatre modèles utilisent actuellement cette plate-forme : Audi A3, SEAT Leon, VW Golf, Škoda Octavia et cinq sont annoncés : Audi TT, VW Sirocco, SEAT Altea, VW Touran et Caddy. L'objectif annoncé à terme est de proposer 40 modèles vendus sous les quatre marques ! D'après Volkswagen, près de 80 % des éléments de ces véhicules seront partagés et les processus de production harmonisés, ce qui permettrait de produire les différents véhicules sur une même chaîne d'assemblage. Le constructeur allemand espère ainsi réduire ses coûts d'ingénierie pour développer un nouveau véhicule de 30 %, ses coûts d'investissement et ses coûts de production de 20 % par véhicule.

Les deux stratégies de Volkswagen et de PSA témoignent d'une volonté partagée de rentrer dans une troisième ère de la modularisation : après une première étape où il s'agissait de concevoir un nombre réduit de plates-formes afin de chercher des synergies entre marques, puis de chercher des synergies entre segments via quelques modules partagés, il s'agit désormais de disposer de quelques plates-formes (deux pour Volkswagen MBQ et MBL selon l'orientation du moteur) à partir desquelles on assemble des modules en *plug and play* afin de construire des véhicules différenciés dans des usines partagées. Selon un expert du secteur, « *the idea heralds a return to basic principles of mass production in an industry where over the last 100 years, complexity has spiralled out of control. By creating a standardised, interchangeable set of parts from which to build a variety of cars, (the company) plans to cut the time taken to build a car by 30%* » (Jesse Crosse, Car, 23 February 2012, <http://www.carmagazine.co.uk/Community/Car-Magazines-Blogs/Jesse-Crosse/Tomorrows-world-Volkswagens-new-MQB-platform-tech-explained/>, consulté le 17 avril 2013).

L'analyse fait sens si on se souvient que les premières automobiles (croisement du monde des calèches et des cycles) étaient construites comme un jeu d'assemblage de composants achetés à diverses filières (Abernathy, 1978). Pour une bonne part, la révolution fordienne a consisté à rendre spécifique la production des composants autour d'un concept unique de véhicule. La Ford T est une voiture mondiale destinée à un marché unifié. Toutefois, lorsque P. Sloan oriente GM vers une organisation multi-divisionnelle structurée autour d'une différenciation des produits en jouant sur des marques distinctes et cherchant l'efficacité coût davantage par les économies de gammes que d'échelle, c'est la pertinence même du modèle

de voiture mondiale qui s'effondre en même temps que les parts de marché Ford. Depuis, et en dépit d'expériences récurrentes, particulièrement chez Ford ou FIAT de recréer une voiture mondiale, l'hétérogénéité persistante des préférences des utilisateurs n'a fait que valider les stratégies de différenciation (Jullien, Lung, 2011). Conceptuellement, la modularité doit pourtant permettre d'atteindre la *mass-customization* (Pine, 1993) : grâce à une plate-forme modulaire, il serait possible de concevoir des macro-composants distinctifs se basant sur une architecture générale identique et des composants voire méso-composants similaires produits à une large échelle. Dans les visions les plus avancées, une même plate-forme modulaire permettrait même d'accroître les adaptations locales. Des niches de marché mal captées pourraient être remplies par un jeu de suppressions, ajouts ou substitutions entre modules. Un modèle *low cost* pourrait ainsi être conçu à partir d'une plate-forme commune en supprimant les éléments jugés inutiles (radar de recul...) et en substituant des modules réalisés à un certain niveau de qualité par d'autres architecturalement identiques, mais physiquement distincts (modification de la qualité des plastiques sur un cockpit par exemple).

Le fait que VW se positionne en leader sur cette stratégie ne doit évidemment rien au hasard. La dimension multimarque du constructeur et sa forte internationalisation justifient son intérêt pour la plate-forme « unique » malgré tout destinée à couvrir l'hétérogénéité des consommateurs.

Un autre enjeu d'une telle plate-forme modulaire est d'harmoniser les processus de production au niveau mondial. En effet, les sites de production, quand bien même ils produisent des modèles analogues, ne sont pas identiques : leur processus de production et leur degré d'intégration verticale diffèrent, en particulier car les fournisseurs domestiques diffèrent. Un des espoirs de recourir à une plate-forme modulaire unifiée est de tendre vers une standardisation des sites productifs et de leurs chaînes d'approvisionnement. Or ceci supposerait que les mega-suppliers suivent systématiquement leurs clients à l'international puisque les macro-composants subissent des contraintes de proximité fortes. Il n'est guère évident que les logiques économiques et institutionnelles soient compatibles avec une telle croyance imprégnée de technologicisme.

4.2. Les limites intrinsèques de la plate-forme modulaire mondiale

Les réponses stratégiques apportées par les constructeurs diffèrent. Si VW et PSA semblent à la recherche d'une plate-forme mondiale déclinable en modèles hétérogènes grâce à une conception modulaire, Renault par exemple se fixe comme objectif de renforcer les synergies sur la base de plates-formes par marque. Le pari du *low cost* se décline autour de la gamme Dacia alors que Renault se positionne sur des clientèles au pouvoir d'achat plus élevé pour des segments similaires de véhicules⁸.

Le cas Dacia mérite d'être développé, car il illustre une stratégie alternative à la plate-forme modulaire de VW. Dans leur analyse du projet Logan, Jullien, Lung et Midler (2012) soulignent que la réussite du projet a découlé de la faculté du constructeur de rompre avec ses routines organisationnelles. Les processus de conception chez les constructeurs se sont fortement stabilisés au cours du temps de sorte que la hiérarchie du cahier des charges techniques est considérée comme un acquis difficilement dépassable. Or inventer un véhicule à bas coût exige de rompre avec une *conception réglée* (Midler, Maniak, Beaume, 2012) afin de renverser considérablement les paramètres caractérisant le produit et les moments où ils sont figés. Pour ne donner qu'un exemple, la prise en compte dès le lancement du projet, des caractéristiques des usines où allait être produit le véhicule (au double sens des processus de production interne (degré d'intégration verticale, degré d'automatisation...) et des capacités technologiques et organisationnelles des fournisseurs locaux a conduit à redéfinir certains choix en conception réputés tranchés par les apprentissages passés. À ce niveau, Dacia illustre une logique inverse par rapport à la stratégie de VW : partir des propriétés locales pour définir le produit et non l'inverse, définir un produit unique destiné à être produit de manière similaire dans les différents espaces. Mais les différences vont au-delà, car le projet Logan en fixant un nouvel ordre des priorités au cahier des charges fonctionnel (coût, habitabilité et fiabilité/durabilité) a abouti à la réalisation d'un véhicule inédit à partir duquel se dessine une lignée de modèles, à vocation mondiale. *De facto*, l'exemple de Dacia illustre une conception

8 Nous simplifions ici quelque peu, car les modèles Dacia sont vendus sous la marque Renault dans plusieurs pays pour des raisons d'image.

intégrale de l'automobile nourrie d'une forme de modularité dans l'idée de mobiliser des modules partagés entre modèles. On est loin de la plateforme modulaire mondiale à partir de laquelle on pourrait fabriquer aussi bien des modèles bas de gamme que haut de gamme en « variant » les modules.

Un des paris de la stratégie de plateforme mondiale repose sur l'idée que les caractéristiques des processus de production et d'approvisionnement sont standardisables au niveau mondial. Or les analyses sur la transférabilité des modes d'organisation ont montré que le transfert du modèle japonais d'organisation a nécessité des adaptations locales, ce qui a été qualifié d'hybridation des modèles (Boyer, 1998). La plateforme modulaire mondiale risque de se heurter à des problèmes similaires d'organisation de rapports salariaux largement encore définis au niveau national. En outre, dans la mesure où elle repose sur un degré d'externalisation élevé, elle suppose que les chaînes d'approvisionnement puissent être déclinées de manière similaire dans les différents espaces de production. Ceci pose deux problèmes. En premier lieu, il faut supposer que les mega-supplieurs sélectionnés pour réaliser un module acceptent de déployer leur propre organisation productive et logistique auprès des différentes usines des constructeurs. Usines qui plus est, si on suit la logique revendiquée par VW, produisant plusieurs modèles. Compte tenu des contraintes de proximité géographique de l'assemblage modulaire, on peut douter que les mega-supplieurs se plient à une multiplication de leurs sites de production – ce qui nuirait aux économies d'échelle – sauf à obtenir des marges accrues – ce qui en contrepartie réduirait les gains escomptés par le constructeur. En deuxième lieu, il demeure dans nombre de pays des réglementations spécifiques en matière de contenu local minimal d'éléments et des barrières douanières de sorte que les possibilités de standardiser les modèles d'approvisionnement restent incertaines.

Un dernier problème concerne l'évolution du produit. Une leçon des travaux sur la modularité est d'avoir montré qu'une fois l'architecture produit figée, le progrès technique s'effectuait de manière incrémentale (au sens de Henderson et Clark, 1990) sur les modules. Certes, si l'architecture comporte peu de sous-systèmes hiérarchiquement emboîtés comme dans l'informatique, les progrès techniques peuvent être importants et le rythme d'introduction des innovations rapides. Mais dans l'automobile,

les solutions modulaires reposent sur des grands blocs constitués de sous-systèmes eux-mêmes profondément systémiques et constitués d'éléments étant eux-mêmes des sous-systèmes. Pour le dire autrement, la série de sous-systèmes emboîtés est bien plus longue que dans l'informatique. En figeant l'architecture générale, VW et PSA vont se trouver face à un dilemme mis en évidence dans les travaux sur les CoPS (Hobday, Davies, Prencipe, 2005). Soit ils restent figés sur leur architecture et ils ne pourront faire évoluer leur véhicule que dans les marges (incrémentales) permises par l'évolution des sous-systèmes compatibles avec l'architecture générale. Soit ils reconsidèrent régulièrement leur architecture générale afin d'introduire des progrès significatifs concernant les sous-systèmes, mais, dans ce cas, le gain monétaire n'est guère évident, car concevoir une nouvelle architecture complète présente un coût élevé.

Il en résulte que la plate-forme modulaire mondiale puisse ne pas s'imposer à l'avenir comme un *dominant design*. Un frein à sa généralisation provient de la trajectoire passée de la mise en modularité. En effet, les constructeurs n'ont pas géré de manière similaire leurs compétences et le développement de celles-ci dans la phase antérieure de modularisation. Ainsi, le nombre et la nature des *grey-box modules* (Morris, Donnelly, 2006) – ces modules sur lesquels les constructeurs ne possèdent qu'une maîtrise approximative de leur spécification détaillée et de leur possibilité d'évolution – diffèrent selon les constructeurs. En outre, au-delà des pratiques *affichées* communes en matière d'externalisation, les procédures concrètes de conception diffèrent également (ce qui explique également le point précédent puisque ces pratiques déterminent en partie la capacité d'absorption (Cohen, Levinthal, 1990) de la firme). Ainsi, Cabigiuso et al. (2013) montrent qu'un même équipementier travaillant sur un même macro-composant avec deux constructeurs différents est confronté à des routines organisationnelles en matière de conception fort distinctes, ce qu'ils imputent essentiellement à une maîtrise différente des compétences chez les constructeurs concernant les propriétés du macro-composant. Or concevoir l'architecture d'un produit complexe exige de maîtriser un haut niveau de compétences sur l'architecture générale du produit et les architectures détaillées des modules (Brusoni, Prencipe, 2001) ; il en résulte que les facultés à imiter les stratégies de VW et PSA ne sont pas communément partagées chez les constructeurs. À un certain degré, certains constructeurs relèvent plus de firmes architectes coordonnant leur réseau

de mega-supplieurs de modules que de véritables intégrateurs systèmes pour reprendre un clivage issu du débat sur les formes organisationnelles de la modularité (Frigant, 2005).

Une des raisons, en amont, qui explique l'état actuel des constructeurs en termes de compétence résulte de la manière dont ils ont géré par le passé leurs fournisseurs. Le mouvement général d'externalisation s'est fait selon des formes de gouvernance différenciées, car les motifs stratégiques octroyés au couple modularisation/externalisation ont différé (Gadde, Jellbo, 2002 ; Sako, 2003). Les constructeurs qui y ont perçu une modalité de réduire les coûts fixes en conception et en production sont ceux qui ont perdu le plus de compétences. Ceux pour qui c'était surtout l'occasion de bénéficier d'économie d'échelles, de gamme et de substitution⁹ en s'appuyant sur des firmes de taille croissante au portefeuille de clients diversifiés et de stimuler l'innovation grâce à la rivalité concurrentielle qui se nouait entre mega-supplieurs, mais sans chercher à réduire leur capacité d'absorption et donc en conservant des doublons en matière d'équipes de recherche et développement, ont pour leur part préservé leurs capacités et donc leur liberté pour s'orienter vers un modèle organisationnel ou un autre. Dans ce contexte, Toyota demeure réticent à une mise en modularité qui réduirait sa faculté d'absorption. Ainsi, lors de l'étape initiale de mise en modularité (guidée par la production), Toyota achetait essentiellement des composants et méso-composants et procédait lui-même à l'intégration des macro-composants. En outre, il s'approvisionne encore de nos jours largement auprès de ses filiales équipementières. Filiales qui développent des compétences en conception et production modulaire lorsqu'elles voyagent à l'étranger et approvisionnent les constructeurs européens et américains ! Cette volonté de conserver un contrôle étroit sur sa chaîne de valeur implique que Toyota ne penchera que très lentement vers une modularisation croissante et, le cas échéant, il y a fort à parier que cela se nouera essentiellement au sein de son Kereistu.

9 Les économies de substitution découlent de la possibilité d'intégrer au produit des éléments déjà développés, testés et industrialisés antérieurement. C'est un des grands avantages des architectures modulaires que d'augmenter la réutilisation d'éléments préalablement conçus pour un nouveau projet (Garud, Kumaraswamy, 1995).

5. CONCLUSION

L'analyse de l'impact de la modularité dans l'industrie automobile a souvent été mal positionnée et du coup son effet a été minoré. En effet, les termes initiaux du débat entre des auteurs comme Sanchez, Mahoney, Langlois, Ulrich... et ceux défendant l'hypothèse CoPS (Prencipe, Pavitt, Brusoni, Hobday, Sako, Fujimoto...) se sont noués autour d'une analyse de l'architecture produit en elle-même, dont il s'agissait de débattre de son éventuelle généralisation à tous les produits d'assemblage. Ce faisant, l'enjeu crucial était passé sous silence : dans l'automobile, l'enjeu n'est pas de bâtir une architecture produit pure au sens d'Ulrich (1995), mais de *tendre vers des principes organisationnels et technologiques de mise en hiérarchie emboîtée des sous-systèmes*. Plus que l'objectif final, ce qui guide le comportement des acteurs depuis deux décennies désormais, c'est le processus de hiérarchisation des éléments constitutifs.

Ce processus est né pour répondre à des objectifs d'optimisation de production, relayés ensuite, plutôt à l'initiative des mega-supplieurs, par des objectifs d'optimisation de la conception des sous-systèmes, et c'est seulement de nos jours que commence à émerger sous l'impulsion de VW et de PSA une nouvelle forme plus conforme à la modularité connue dans l'informatique : une architecture produit véritablement modulaire à partir d'une plate-forme mondiale répondant aux besoins de gérer plusieurs marques opérées sur l'ensemble des continents.

Dans cette perspective, la modularisation a constitué un vecteur majeur d'une externalisation croissante en production, chez tous les constructeurs, et en conception avec des degrés plus variables selon les firmes. Ce mouvement a bouleversé l'industrie amont en favorisant l'émergence puis le renforcement de mega-supplieurs qui à leur tour ont déstabilisé les tissus productifs nationaux en évinçant une partie des PME sous-traitantes et en internationalisant leur propre appareil productif désormais organisé selon une division internationale des processus productifs facilitant les délocalisations dans les pays à bas coûts et le recours à la sous-traitance internationale.

Les deux phases antérieures ont permis de développer de forts apprentissages organisationnels et technologiques sur ce qu'est une automobile

modulaire et de mieux cerner ses limites (résistance sur l'intégrité du produit, difficulté à couvrir l'ensemble des préférences hétérogènes des consommateurs). C'est pour dépasser ces limites qu'une nouvelle génération de plate-forme modularisée émerge. Mais son avenir demeure incertain. En effet, l'industrie automobile s'est par le passé montrée rétive à l'adoption d'un modèle organisationnel unique (Freyssenet et al., 2000) ; la différenciation des modèles productifs (Boyer, Freyssenet, 2000) est un trait récurrent de cette industrie parce que les manières d'appréhender les marchés et les manières de nouer des compromis de gouvernement diffèrent selon les stratégies des dirigeants et le contexte dans lequel les entreprises évoluent. Construire une plate-forme modulaire mondiale n'est qu'une des manières de répondre au défi de l'internationalisation des marchés et de rechercher des économies d'échelle, de gamme et de substitution. Outre que tous les constructeurs ne possèdent pas toutes les compétences requises pour développer une telle architecture, la dépendance du sentier d'ordre technologique que fait peser une telle architecture sur la trajectoire d'évolution du produit (nécessairement incrémentale par définition) suggère que des constructeurs proposant des produits intégraux spécifiquement conçus pour un segment de marché ciblé seront mieux à même de satisfaire des préférences des consommateurs nécessairement évolutives et/ou d'intégrer de manière performante les innovations technologiques. Ainsi, si l'automobile se modularise depuis la fin des années 1990, il est fort probable qu'une architecture complètement modulaire ne s'imposera pas avant de nombreuses années.

BIBLIOGRAPHIE

- ABERNATHY W. J. (1978), *The Productivity Dilemma*, The Johns Hopkins University Press, Baltimore.
- AUTOBUSINESS-SSBS (2004), *Modules and Systems*, AutoBusiness Ltd, Stamford.
- BALDWIN C. & CLARK K. (2000), *Design Rules: The Power of Modularity*, MIT Press, Cambridge (Mass.).
- BÉLOT R. et LAMARD P. (2007), *Peugeot à Sochaux*, Lavauvelles, Paris.
- BOYER R. (1998), "Hybridization and Models of Production: Geography, History, and Theory", in R. Boyer, E. Charron, U. Jürgens, & S. Tolliday (Eds.), *Between Imitation and Innovation: The Transfer and Hybridization of Productive Models in the International Automobile Industry*, Oxford University Press, Oxford, pp. 23-56.
- BOYER R. et Freyssenet M. (2000), *Les modèles productifs*, La Découverte, Paris.

- BRUSONI S. & PRENCIPE A. (2001), "Unpacking the Black Box of Modularity: Technologies, Products and Organizations", *Industrial and Corporate Change*, vol. 10, n° 1, pp. 179-204.
- BRUSONI S., PRENCIPE A., & PAVITT K. (2001), "Knowledge Specialisation, Organizational Coupling, and the Boundaries of the Firm: Why Do Firms Know More Than They Make?", *Administrative Science Quarterly*, vol. 46, n° 4, pp. 597-621.
- CABIGIOSU A., ZIRPOLI F., & CAMUFFO A. (2013), "Modularity, interfaces definition and the integration of external sources of innovation in the automotive industry", *Research Policy*, vol. 42, n° 3, pp. 662-675.
- CAMPAGNOLO, D. & CAMUFFO, A. (2010), "The Concept of Modularity in Management studies: A literature Review", *International Journal of Management Reviews*, vol. 12, n° 3, pp. 259-283.
- CARRINCAZEUX C. et LUNG Y. (1998), « La proximité dans l'organisation de la conception des produits automobiles », in M. Bellet, T. Kirat et C. LARGERON (Eds.), *Approches multiformes de la proximité*, Hermes, Paris, pp. 241-265.
- CHESBROUGH H. (2003), *Open Innovation: The New Imperative for Creating and Profiting from Technology*, Harvard Business School Press.
- COLFER L. & BALDWIN C. (2010), "The Mirroring Hypothesis: Theory, Evidence and Exceptions", *Harvard Business School Working Paper*, n° 10-058.
- COHEN W. & LEVINTHAL D. (1990), "Absorptive capacity: A new perspective on learning an innovation", *Administrative Science Quarterly*, vol. 35, n° 1, pp. 128-152.
- DONOVAN D. (1999), "The dawn of the mega-supplier", *Bain Brief*, http://www.bain.com/Images/BSB_Dawn_of_mega_supplier.pdf.
- ETHIRAJ S., LEVINTHAL D., & ROY R. (2008), "The Dual Role of Modularity: Innovation and Imitation", *Management Science*, vol. 54, n° 5, pp. 939-955.
- FIXSON S. & PARK J. K. (2008), "The power of integrality: Linkages between product architecture, innovation, and industry structure", *Research Policy*, vol. 37, pp. 1296-1316.
- FREYSSENET M., MAIR A., SHIMIZU K. et VOLPATO G. (Eds.), (2000), *Quel modèle productif? Trajectoires et modèles industriels des constructeurs automobiles mondiaux*, La Découverte, Paris.
- FRIGANT, V. (2005), « Vanishing Hand versus Systems Integrators. Une revue de la littérature sur l'impact organisationnel de la modularité », *Revue d'économie industrielle*, n° 109, pp. 29-52.
- FRIGANT V. (2009), "Winners and losers in the auto parts industry: Trajectories followed by the main First Tier Suppliers over the past decade", in M. Freysenet (Ed.), *The Second Automobile Revolution*, Palgrave MacMillan, New York, pp. 419-442.
- FRIGANT V. (2011), "Egyptian pyramid or Aztec pyramid: How should we describe the industrial architecture of automotive supply chains in Europe?", *Cahiers du GREThA*, n° 2011-27, July.
- FRIGANT V. & LUNG Y. (2002), "Geographical Proximity and Supplying Relationships in Modular Production", *International Journal of Urban and Regional Research*, vol. 26, n° 4, pp. 742-755.
- FRIGANT V. et LAYAN J.-B. (2009), « Géographie d'une industrie automobile modulaire : le cas des équipementiers français en Europe de l'Est », *Revue d'économie régionale et urbaine*, n° 4, pp. 79-106.

- GADDE L. & JELLBO O. (2002), "System sourcing—opportunities and problems", *European Journal of Purchasing & Supply Management*, vol. 8, pp. 43-51.
- GARUD R. & KUMARASWAMY A. (1995), "Technological and organizational designs to achieve economies of substitution", *Strategic Management Journal*, vol. 16, pp. 93-109.
- HENDERSON R. & CLARK K. (1990), "Architectural Innovation: The Reconfiguration of Existing Product Technologies and the Failure of Established Firms", *Administrative Science Quarterly*, vol. 35, n° 1, pp. 9-30.
- HOBDAY M., DAVIES A., & PRENCIPE A. (2005), "Systems integration: a core capability of the modern corporation", *Industrial and Corporate Change*, vol. 14, n° 6, pp. 1109-1143.
- HUMPHREY J. (2000), "Assembler-Supplier Relations in the Auto Industry: Globalisation and National Development", *Competition and Change*, vol. 4, pp. 245-71.
- JACOBIDES M., KNUDSEN T., & AUGIER M. (2006), "Benefiting from innovation: Value creation, value appropriation and the role of industry architectures", *Research Policy*, vol. 35, pp. 1200-1221.
- JULLIEN B. et LUNG Y. (2011), *L'industrie automobile à la croisée des chemins*, La Documentation Française, Paris.
- JULLIEN B., LUNG Y. et MIDLER C. (2012), *L'épopée Logan : nouvelles trajectoires pour l'innovation*, Dunod, Paris.
- KLIER T. & RUBENSTEIN J. (2008), *Who really made your car? Restructuring and geographic change in the auto industry*, WE.Upjohn Institute for Employment Research, Kalamazoo.
- KLIER T. & RUBENSTEIN J. (2011), "Reconfiguration of the North American and European auto industries – a study in contrast", *European Review of Industrial Economics and Policy*, n° 3, <http://revel.unice.fr/eriep/index.html?id=3369>.
- LANGLOIS R. (2003), "The Vanishing Hand: The Changing Dynamics of the Industrial Capitalism", *Industrial and Corporate Change*, vol. 12, n° 2, pp. 651-385.
- LANGLOIS R. & ROBERTSON P. (1992), "Networks and Innovation in a Modular System: Lessons from the Microcomputer and Stereo Component Industries", *Research Policy*, vol. 21, n° 4, pp. 297-313.
- LUNG Y., SALERNO M., ZILBOVICIUS M., & CARNEIRO DIAS A. (1999), "Flexibility through Modularity: Experimentations of Fractal Production in Europe and Brazil", in Y. Lung, J. J. Chanaron, T. Fujimoto, & D. Raff (Eds.), *Coping with Variety. Flexible Productive Systems for Product Variety in the Auto Industry*, Ashgate, Aldershot, pp. 224-258.
- MCALINDEN S., SMITH B., & SWIECKI B. (1999), "The Future of Modular Automotive Systems: Where are the Economic Efficiencies in the Modular Assembly Concept?", *Office for the Study of Automotive Transportation*, University of Michigan Transportation Research Institute, November.
- MACDUFFIE J. P. (2013), "Modularity-as-property, modularization-as-process, and modularity-as-frame: Lessons from product architecture initiatives in the global automotive industry", *Global Strategy Journal*, n° 3, pp. 8-40.
- MIDLER C., MANIAK R. et BEAUME R. (2012), *Réenchâter l'industrie par l'innovation*, Dunod, Paris.
- MORRIS D. & DONNELLY T. (2006), "Are there market limits to modularisation?", *International Journal of Automotive Technology and Management*, vol. 6, n° 3, pp. 262-275.

- MOUCHNINO N. et SAUTEL O. (2007), « Coordination productive et enjeux concurrentiels au sein d'une industrie modulaire : l'exemple d'Airbus », *Innovations*, n° 25, pp. 135-153.
- MURMANN J. P. & FRENKEN K. (2006), "Toward a systematic framework for research on dominant designs, technological innovations, and industrial change", *Research Policy*, vol. 35, pp. 925-952.
- PINE B. J. (1993), *Mass Customization: The New Frontier in Business Competition*, Harvard Business School Press, Harvard (Mass).
- SAKO M. (2003), "Modularity and Outsourcing: The Nature of Co-evolution of Product Architecture and Organisation Architecture in the Global Automotive Industry", in A. Prencipe, A. Davies, & M. Hobday (Eds.), *The Business of Systems Integration*, Oxford University Press, Oxford, pp. 229-253.
- SANCHEZ R. & MAHONEY J. T. (1996), "Modularity, flexibility, and knowledge management in product and organization design", *Strategic Management Journal*, vol. 17, pp. 63-76.
- SIMON H. (1962), "The Architecture of Complexity", *Proceedings of the American Philosophical Society*, vol. 106, n° 6, pp. 467-482.
- STURGEON T. (2003), "What Really Goes on in Silicon Valley? Spatial Clustering and Dispersal in Modular Production Network", *Journal of Economic Geography*, vol. 3, n° 2, pp. 173-198.
- STURGEON T., VAN BIESEBROECK J., & GEREFFI G. (2008), "Value chains, networks and clusters: reframing the global automotive industry", *Journal of Economic Geography*, vol. 8, n° 3, pp. 297-321.
- SUTHERLAND D. (2005), "OEM-supplier relations in the global auto and components industry", *International Journal of Automotive Technology and Management*, vol. 5, n° 2, pp. 234-251.
- TAKEISHI A. & FUJIMOTO T. (2003), "Modularization in the Car Industry: inter-linked Multiple Hierarchies of Product, Production, and Suppliers Systems", in A. Prencipe, A. Davies, & M. Hobday (Eds.), *The Business of Systems Integration*, Oxford University Press, Oxford, pp. 254-278.
- TUSHMAN M. & MURMANN J. (1998), "Dominant designs, technological cycles and organizational outcomes", in B. Staw & L. Cummings (Eds.), *Research in Organizational Behavior*, vol. 20, pp. 232-266.
- ULRICH K. (1995), "The role of product architecture in the manufacturing firm", *Research Policy*, vol. 24, n° 3, pp. 419-440.
- VELOSO F. & FIXSON S. (2001), "Make-Buy Decision in the Auto Industry: New Perspectives on the Role of the Supplier as an Innovator", *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 67, n° 2/3, pp. 239-257.
- VELOSO F. & KUMAR R. (2002), "The Automotive Supply Chain: Global Trends and Asian Perspectives", *ERD Working Paper*, n° 3, January.
- VOLPATO G. (2004), "The OEM-FTS relationship in automotive industry", *International Journal of Automotive Technology and Management*, vol. 4, n° 2/3, pp. 166-197.
- WHITFORD J. & ENRIETTI A. (2005), "Surviving the Fall of a King: The Regional Institutional Implications of Crisis at Fiat Auto", *International Journal of Urban and Regional Research*, vol. 29, n° 4, pp. 771-795.