

# LES NOUVEAUX MATERIAUX : L'INNOVATION COMME UN ENJEU STRATEGIQUE POUR LES CONSTRUCTEURS AUTOMOBILES : LE CAS DE RENAULT<sup>1</sup>

Heloisa V. de Medina

Chercheur au CNPq/CETEM -Centre de Technologie Mineral-

Ricardo M. Naveiro

Prof. DSc. à L'Université Federale du Rio de Janeiro.

## Résumé :

Cet article montre les impacts de l'innovation dans l'organisation industrielle du point de vue de l'introduction des nouveaux matériaux. Notre étude de cas considère un horizon temporel d'environ 20 ans, des années mi-80 jusqu'à celles du début du prochain siècle, c'est à dire la période correspondant au domaine des matériaux synthétiques et de haute performance face aux défis d'un nouveau paradigme environnemental et face également à un marché économique de plus en plus instable et global. Chez Renault nous nous sommes procuré des exemples de nouveaux matériaux tout en observant les changements technologiques et organisationnels au niveau des usines qui les ont précédé ou suivi. L'objectif était de démontrer par ces exemples comment l'introduction des nouveaux matériaux dans une voiture peut entraîner tout un ensemble de changements majeurs dans l'organisation de la production d'une façon globale. On peut même dire que ces transformations commencent dans la phase projet et vont jusqu'à l'industrialisation finale, en ayant des effets non seulement sur le constructeur mais aussi sur le réseau d'équipementiers et de fournisseurs de pièces et de matériaux, donc sur toute l'échelle du milieu automobile.

## Introduction

Ce qui est le plus important dans une voiture les gens ne le voient pas : c'est ainsi qu'ils ne font pas attention aux matériaux qui vont avec. Et pourtant la voiture est un ensemble de milliers de pièces assemblées qui empruntent leurs fonctions aux matériaux dont elles sont constituées. Alors que les matériaux métalliques représentent aujourd'hui 70 % d'une voiture<sup>2</sup>, il y a aussi une cinquantaine de matériaux plastiques et d'autres moins nombreux tels que les verres, les textiles, et les peintures, autour desquels existent des ensembles de techniques, de traitements et de procédés d'assemblage qu'il faut prendre en compte. Il y a aussi des qualifications professionnelles qui sont propres aux processus industriels qui caractérisent, à leur tour, le secteur où cette activité économique se produit.

Selon cette optique, on peut dire que l'évolution récente des matériaux automobiles entraîne des modifications majeures qui outrepassent le niveau des usines. Plus qu'une réorganisation des firmes industrielles on assiste en ce moment à une restructuration stratégique, à la fois micro et macro-économique, du secteur automobile qui reste encore le plus représentatif de l'organisation industrielle de notre siècle.

Ainsi à chaque nouveau projet, on a l'impression qu'on réinvente la voiture et ses formes de production. D'une industrie de montage métal-mécanique complète et verticalement centralisée, elle devient de plus en plus, une industrie coordonatrice d'un réseau complexe et intégré de grands groupes industriels, producteurs de matériaux et de systèmes sous-assemblés, qui sont parfois plus puissants que les constructeurs. Ces groupes appartiennent notamment aux secteurs chimiques et électroniques, mais font désormais partie du milieu automobile. (Pechiney, GE Plastiques, Plastic Omnium, Krupp Hoesch Automotive, Siemens Automotive Systems, Delphi Automotive, ITT Automotive etc. ...).

---

<sup>1</sup> Il s'agit d'une adaptation résumé de la thèse de Docotrat de Heloisa Medina (fév. 2000) à Université Federal du Rio de Janeiro COPPE/UFRJ. Pour le travail sur le terrain chez Renault en France Medina a obtenu une bourse sandwich du CNPq pour lequel elle est très reconnaissante.

<sup>2</sup> Maeder 1997, *Le choix des matériaux dans l'industrie automobile*, et selon Teulon (1992) en 1920 85% de la carrosserie était en bois.

En partenariat, les expertises sont partagées et mises au service des nouveaux projets de voitures. Tous les secteurs, qu'ils soient traditionnels ou avancés, en profitent pour faire progresser leurs activités à la recherche d'une plus-value et d'une compétitivité croissante de leurs produits. Ce sont ces réseaux de coopération continue et globale qui donnent le ton et le rythme de l'évolution automobile.

Dans ce cadre de transformations majeures à long terme, les nouveaux matériaux jouent un rôle central mais pas toujours visible. Et c'est pour le mettre en évidence que cette recherche a été menée dans le domaine de l'innovation en matériaux tout en essayant de montrer les relations entre la diffusion des innovations en matériaux, le processus de réorganisation industrielle et l'avenir des nouvelles configurations industrielles à l'aube du XXI<sup>e</sup> siècle.

Le but de cette étude de cas est d'identifier et d'analyser les impacts de l'innovation dans l'organisation industrielle du point de vue de l'introduction des nouveaux matériaux. Nous sommes partis d'un concept multifonctionnel de nouveau matériau automobile, selon le quel nous avons considéré comme nouveau matériau celui qui était utilisé la première fois dans une fonction et un process de production donné, soit pour une fonction structurelle dans la carrosserie, soit pour une fonction mécanique dans le moteur.

Chez Renault nous avons cherché des exemples de nouveaux matériaux dans les années 90 tout en observant les changements technologiques et organisationnels qui les ont précédés ou suivis. On peut même dire que ces transformations commencent dans la phase projet et vont jusqu'à l'industrialisation finale en ayant des effets non seulement sur le constructeur mais aussi sur le réseau d'équipementiers et de fournisseurs de pièces et de matériaux. Ils peuvent donc entraîner des changements majeurs dans l'organisation de la production d'une façon globale.

Notre analyse est centrée sur les constructeurs automobiles, plus spécifiquement sur l'activité projet, en y incluant le choix de matériaux, à partir duquel on peut envisager toute la séquence d'effets sur les autres acteurs qui participent au processus de changements globaux. Les aspects liés au montage final de la voiture, y compris la chaîne, les procédés et techniques d'assemblage et les qualifications associées aux nouveaux matériaux sont analysés dans les exemples sélectionnés.

Après avoir visité l'usine de Flins et fait des recherches sur le site Internet de Renault, la Clio II était choisie comme objet de notre étude sur le terrain pour y sélectionner des exemples. A notre avis elle réunit toutes les conditions nécessaires, c'est à dire que c'était le dernier projet Renault à sortir à l'époque de notre recherche et celui qui a incorporé la plus grande diversité de matériaux. De plus elle est la voiture produite en plus grande série chez Renault et la dernière à sortir au Brésil.

Dans cet article, nous présentons les principaux résultats de notre analyse à partir d'exemples sélectionnés. La méthode de travail sur le terrain a été basée sur des visites à l'usine de Flins et dans les centres de recherche Renault, soit le Technocentre de Guyancourt, soit le Centre Technique de Rueil, et sur des interviews avec des spécialistes de Renault qui ont été enregistrées. Les interviews ont été guidées par des questions envoyées par avance aux interviewés selon leurs spécialités. Le schéma général des questions est présenté en annexe.

Pour l'incalculable collaboration de nos correspondants et des interviewés chez Renault nous remercions à M. Bernard Criqui, M. Jean-Claude Monnet, M. Gérard Maeder, M. Joel Le Gal, M. Bruno Cosatti, M. André Massias, M. Sylvian Bourdillon, M. Pierre Pickel,

M. Nicolas Pousselle. Nous sommes en particulier très reconnaissants à M. Gérard Maeder, directeur de la direction de l'ingénierie des matériaux, qui a si bien accueilli et orienté notre recherche en ce qui concerne les contacts au Technocentre et au Centre Technique de la Mécanique menés par Heloisa Medina.

## 1) Un peu d'histoire : l'automobile un concept qui évolue

L'histoire de l'automobile peut être racontée soit par ses matériaux constitutifs, l'acier et le caoutchouc ou l'aluminium et les plastiques, soit par ses modèles d'organisation de la production, le *craft system*, le fordisme, le toyotisme ou les nouvelles formules hybrides d'aujourd'hui.

Ce fut d'abord un objet technique mécanique qui, au début du siècle, se distinguait des carrosses par un moteur à combustion interne<sup>3</sup>, par de nouvelles utilisations des matériaux métalliques ou organiques traditionnels, tels que l'acier ou le bois, ainsi que par des nouveautés telles que les pneus en caoutchouc, qui apportaient la plus grande différence en termes de confort. Pourtant, quels que ce soient les matériaux qui ont fait leur entrée dans l'automobile, ils se sont transformés et n'ont jamais cessé d'évoluer depuis plus d'un siècle. A présent il est vrai que les matériaux nouveaux et les matériaux traditionnels se côtoient dans l'automobile, mais il est aussi vrai que les aciers à déformation programmée<sup>4</sup> ont très peu de choses en commun avec leurs ancêtres dans la Ford T par exemple.

On assiste en permanence à des changements vers l'intégration de fonctions et cela est l'enjeu le plus significatif entre cet objet technique, le plus connu au monde, et ses matériaux. Tout à la fois, ils ont créé et recréé des techniques de mise en œuvre de matières premières, des formes d'assemblage de pièces et des modèles d'organisation de la production dans un processus d'innovation global et synergique.

L'automobile résulte donc des inventions et des développements technologiques divers mis au point à la fin du siècle XIX<sup>e</sup> et durant les premières décennies du XX<sup>e</sup>. Elle est toujours le fruit des avancées de plusieurs domaines de la connaissance scientifique et technologique et des développements apportés par d'autres secteurs d'activités qui participent ou pas à sa filière. Ainsi, au début c'était la métallurgie, le moteur à combustion interne, les trains, les carrosses et puis on est arrivé à l'ère de l'électronique, de la chimie, des matériaux plastiques et composites, de l'aéronautique, des TGV etc. qui, contribuent à la rendre plus performante, plus sûre, et propre en tant que moyen de transport intégré dans les technologies les plus modernes.

Le bilan de son premier siècle indique que la voiture a réussi, malgré un environnement économique profondément instable, et malgré l'exacerbation de la concurrence où il n'y a plus des positions acquises mais une évolution permanente. A ce sujet nous partageons le même avis que J.J. Chanaron<sup>5</sup>: *les temps automobile sont des temps discontinus et fragmentés. Ce sont des temps très longs (où) la culture métal-mécanique a imposé de longs délais aux spécialistes des plastiques pour développer cette technologie.* Et d'après son étude chez Renault Chanaron<sup>6</sup> signale : *Ils ont dû d'abord « vendre leurs innovations à l'intérieur de l'entreprise ... » L'un des moyens essentiels de développer un réseau d'alliés internes est la circulation des hommes de recherche au sein des autres directions.* En deux mots, pour des innovations, il faut des réseaux et l'utilisation des ailes plastiques présentée plus loin est un exemplaire parfait de ce processus.

Néanmoins, les plastiques ont fait leur rentrée dans les années 70 et ont pris pas mal de place dans l'habitacle et même à l'extérieur de la voiture pour des fonctions non structurellement importantes. Ils ont même doublé leur part dans le poids total d'un véhicule

<sup>3</sup> L'application pratique du cycle à quatre temps, décrit par le Français Alphonse Beau de Rochas dans son brevet en 1862, a été réalisé par l'Allemand Nikolaus Otto qui construit en 1864 le premier moteur à quatre temps dont les moteurs actuels conservent le principe du fonctionnement mécanique.

<sup>4</sup> La déformation programmée est une expression qui décrit l'aptitude de certaines parties de la structure de la voiture à s'écraser sous l'effet d'un choc violent, de façon à absorber sans la transmettre l'énergie d'impact. C'est le cas en particulier des longerons avant et arrière constitués de tôles de différentes épaisseurs.

<sup>5</sup> Jean-Jacques Chanaron « Le Management des Matériaux nouveaux : Le cas de Renault » 1993.

<sup>6</sup> ibidem op.cit. Chanaron 1993

en 15 ans. Toutefois les principales contraintes à leur diffusion correspondaient aux liens entre projet et industrialisation de la voiture. Il ne suffit pas de penser au matériau, il faut également prévoir les besoins liés à la mise en oeuvre du matériau et au montage des pièces sur la chaîne, qui d'ailleurs restent encore un métier "métallurgique". Pour l'introduction des nouveaux matériaux, pour leur mise au point dans une voiture, il faut penser à la synergie du système automobile, et il peut alors arriver que quelques choix soient bloqués.

En tous les cas, les plastiques en tant que matériaux légers, ont progressé dans les fonctions structurelles et mécaniques. Mais les métaux ne se sont pas faire attendre longtemps en donnant leur réponse par le développement d'alliages spéciaux de plus en plus performants pour de nouvelles fonctions.

D'autre part les céramiques pour des fonctions mécaniques, que l'on trouve sur quelques moteurs de voitures haut gamme, sont encore en attente technique et économique pour des usages en grande série. C'est exactement le sens de la réponse de M. Le Gal (spécialiste fonderie moteurs chez Renault) à la question suivante :

*- Connaissez-vous des exemples des matériaux pour le moteur qui ont été écartés pour des raisons de non-maîtrise au niveau du montage pièces ou de l'assemblage final du moteur?*

*- Le Gal : Je dirais qu'il y a des céramiques. Les céramiques, nous sommes toujours prudents envers les céramiques. C'est quelque chose de fragile, donc il faut faire attention justement au niveau du montage ou de l'assemblage. Chez Renault il n'y en a pas, et chez Peugeot l'application sur un moteur V6 a été très difficile. C'est d'ailleurs un moteur qui équipe des voitures qui coûtent très cher.*

Enfin, ces sont des enjeux et des défis constants qui amènent le secteur à se moderniser. Et moderniser l'industrie automobile va dans le sens de simplifier la complexité croissante des produits et des processus. Autrement dit, dans une voiture la complexité ne doit être qu'une façon de la rendre plus facile à utiliser et même à être construite. Ce qu'on cherche, par exemple, dans les voitures *électronisées* c'est une utilisation plus facile soit pour les consommateurs soit pour les ouvriers.

Une étude réalisée par l'association française APEC – Association pour l'Emploi des Cadres –<sup>7</sup> voit ce processus de simplification à deux niveaux simultanés et intégrés : niveau organisationnel de la production (interne à l'usine) et niveau extérieur des produits automobiles (matériaux et pièces de fournisseurs).

Niveau produit, on assiste à la transformation du secteur automobile, à l'origine mécanique, vers une industrie hybride qui aujourd'hui intègre de plus en plus de nouveaux matériaux, de nouvelles technologies, de nouveaux modes de production et de nouveaux partenaires. Cette évolution a entraîné la disparition d'emplois traditionnels dans tout le secteur, et la naissance de nouveaux métiers et de nouvelles qualifications. Dans ce cadre, les pièces en nouveaux matériaux pré-assemblés hors de la chaîne déplacent la mise en œuvre des matériaux sur place et simplifient aussi le montage. Les sous-ensembles et l'intégration de fonctions sont des tendances actuelles et futures auxquelles les nouveaux matériaux contribuent, ce que l'on a pu constater par les interviews réalisées chez Renault.

Niveau organisation, les structures hiérarchiques à leur tour semblent plus simples avec la réduction des postes, la décentralisation, le travail en groupe, les structures transversales, et les opérateurs polyvalents. Cela veut dire, pour tous les acteurs, plus d'autonomie mais aussi un grand besoin de coordination surtout sur le terrain. Et les nouveaux matériaux sont toujours là dans un rôle central mais pas toujours visible : en tant que produits intermédiaires, ils restent parfois à l'ombre des changements dits majeurs.

La réorganisation de la production a aussi livré des espaces dans les ateliers dans le sens de l'augmentation de la productivité des installations industrielles. On arrive à produire

---

<sup>7</sup> L'APEC, 1997, Cette association a été créée en 1966 et représente les cadres et les entreprises du secteur privé.

plus de voitures en utilisant des surfaces industrielles de plus en plus réduites. Cette tendance est mondiale et se renforce au fur et à mesure que la restructuration, niveau usines, arrive à profiter de l'intégration des fonctions et de la simplification de la complexité du produit, mentionnée plus haut, dans un processus de réorganisation intégré et global qui diffuse dans toute la filière automobile.

Il nous reste à mentionner un dernier aspect de cette évolution, où la contribution des matériaux est très importante, c'est le renouvellement du concept de la voiture. D'abord, au début du siècle, elle n'était qu'une machine moderne pour le plaisir des gens les plus aisés, même si elle ressemblait plus à un objet hybride entre le carrosse et le train. Ensuite, elle est devenue un moyen de transport accessible aux classes moyennes, un produit en acier construit en série par Ford. Depuis les années 50 elle s'est démocratisée par la standardisation et l'intensification de la production en série qui l'ont rendue moins chère. Et aujourd'hui on assiste une diversification inédite des modèles, c'est la voiture de loisir qui reste toujours en série et de plus en plus achetable par chacun selon ses moyens. Enfin, on a le choix et en grand nombre. C'est la diversité mais en grand volume de production tout de même.

En fait, la voiture a beaucoup changé dans son premier siècle d'existence, même si elle garde le nom qui est plus un mot générique qu'un concept qualifiant. En empruntant de nouvelles fonctions aux nouveaux matériaux, développés d'après les avances scientifiques et technologiques les plus fortes dans la deuxième moitié du siècle, elle s'est allégée, elle est devenue plus performante, sûre et confortable. La voiture a gagné aussi d'autres fonctions avec des équipements d'électroniques et l'informatique qui les accompagne et est de plus en plus programmée pour le confort et la sécurité maximum<sup>8</sup>. Mais elle en a aussi profité pour bien cibler les impacts sur l'environnement durant ces dernières vingt années. Depuis les années 70 la réduction de la consommation a toujours été un but : d'abord par l'allègement de la carrosserie et ensuite par les contrôles électroniques de la combustion, puis par l'amélioration de la thermodynamique des moteurs, et encore par des dessins plus aérodynamiques.

Certes, à partir des années mi-80, il y a eu un alourdissement des voitures à cause de l'incorporation de nouvelles fonctionnalités et d'équipements de sécurité. Selon Maeder<sup>9</sup>, depuis 1984, pour une même catégorie de véhicule chaque modèle remplacé est plus lourd de 100 Kg en moyenne (environ 10%) par rapport à son prédécesseur chez tous les constructeurs. Néanmoins cette tendance est mise en surveillance continue et même compensée en termes de consommation, par des progrès sur la performance, par la réduction des frottements dans les pièces du moteur, par l'utilisation des matériaux composites pour les pièces traditionnellement en tôle ou fonte, ou encore des élastomères thermoplastiques ou des silicones pour des conduits ou des joints auparavant en caoutchouc.

En somme, les nouveaux matériaux contribuent aux nouvelles caractéristiques de la voiture : loisir, plaisir ou respect à l'environnement, parce que pour tout cela on a fort besoin des aciers spéciaux, de l'aluminium, du magnésium, des plastiques, des composites.... Mais aussi, les nouveaux matériaux comptent sur la voiture pour leur permettre de diffuser plus rapidement par le moyen d'une production à l'échelle mondiale et en grande série.

Alors qu'est-ce qu'une automobile ? Pour nous, c'est plutôt un casse-tête qu'un simple un produit unique. La meilleure définition générale serait peut être celle d'un produit multiple

---

<sup>8</sup> **Renault propose un nouveau système de télématique routière** : Offrir un service d'assistance assurant une totale tranquillité d'esprit, 24 heures sur 24, 7 jours sur 7, telle est la vocation du système que Renault commercialisera prochainement sur l'ensemble de la gamme. Appuyé sur les technologies les plus avancées, son utilisation est d'une extrême simplicité. Il permet une localisation précise par satellite du véhicule en cas de panne, d'accident, ou lorsque l'utilisateur est égaré. Son but : orienter la chaîne d'assistance pour améliorer la sécurité et raccourcir les temps d'intervention en cas de nécessité. Actualités sur le site internet Renault 28/04/98, <http://www.renault.fr>

<sup>9</sup> Maeder G. 1998 « Pourquoi alléger, comment alléger ».

conçu pour marcher d'une façon intégrée et synergique, avec des centaines d'ensembles sous-assemblés dont les matériaux varient énormément. Clark et Fujimoto (1991, p. 9.) nous donnent une explication semblable *« a car is a complex 'fabricated-assembled' product, comprising a large number of components, functions, and process steps. »* La complexité croissante des projets automobiles s'intensifie dans la mesure où les nouvelles fonctions les plus marquantes arrivent par l'introduction de l'électronique et des contraintes environnementales.

Jean-Jacques Payan et Alfred Moustacchi ont bien résumé l'évolution récente de l'automobile<sup>10</sup> : *Depuis un quart de siècle, subissant des réglementations de plus en plus contraignantes en matière de la sécurité et de pollution atmosphérique, l'automobile a affirmé la volonté de mettre sur le marché, à des prix accessibles au plus grand nombre, les innovations technologiques qui doivent assurer sa survie et sa pérennité.*

Et on arrive aujourd'hui à donner à l'automobile une définition dynamique avec son système de production et compatible avec ses avances technologiques et sociales. Et là on emprunte à Chanaron sa définition : *un produit complexe comprenant plusieurs milliers de pièces elles-mêmes de complexité très variable, l'automobile peut être considérée comme un produit-système décomposable en grandes fonctions qui relèvent de disciplines technologiques très variées même si, pour l'essentiel, la majorité relève de la filière métal mécanique. Une des caractéristiques majeures de la période contemporaine est justement l'émergence puis la diffusion croissante des nouvelles techniques, et notamment l'électronique et les nouveaux matériaux qui perturbent la cohérence technologique traditionnellement dominante.*

Mais si l'émergence des nouvelles techniques et des nouveaux matériaux touchent l'organisation traditionnelle de la production automobile, en revanche, il faut reconnaître que globalement ils participent à la logique de l'innovation selon un processus de destruction créatrice qui renouvelle les formes et les mécanismes d'accumulation, et qui assure donc la survie compétitive du secteur.

En somme même si on prend une définition descriptive d'une automobile comme celle du MIT cité par Teulon<sup>11</sup> *« a four-wheeled, internally powered personal transport apparatus for road use, designed to carry a driver and a few passengers »* elle reste encore un produit qui tient à la satisfaction des besoins de l'utilisateur. Et dans ce sens là il faut choisir des matériaux évolutifs<sup>12</sup> qui s'adaptent aux demandes des clients. En faisant cela, le choix de matériaux peut induire des gains ou des pertes de compétitivité.

## **2)Le choix de matériaux : les principaux facteurs et les critères**

Compte tenu de l'électronique et de l'informatisation, de la diversification des fonctions et de la multiplication des matériaux qui les supportent et, encore de ses techniques de fabrication de pièces et d'assemblages, la production automobile s'est bien complexifiée les dernières décennies.

Le processus de substitution des matériaux s'est accéléré depuis les années 70. Les contraintes posées par l'environnement ont fait leur apparition. La voiture a été frappée par les nouveaux paradigmes "électronique" et "environnement" qui se sont produits et cela a sûrement poussé l'évolution des matériaux dans l'automobile.

Teulon<sup>13</sup> nous a fait bien remarquer ce processus de transformation d'une façon générale en disant que *« cette évolution se caractérise par une compétition nouvelle entre les*

<sup>10</sup> Payan et Moustacchi 1999 L'automobile Avenir d'une centenaire, éditions Flammarion, Paris voir p. 7.126pp

<sup>11</sup> H. Teulon voir « L'analyse Fonctionnel pour le choix des matériaux : une source de compétitivité » en Matériaux et Techniques mai 1990 p.3-5.

<sup>12</sup> D'après Bomsell et Ross (1989) les matériaux évolutifs ce sont ceux dont les fonctions associées ont été spécifiées par le client, dans un mot conçus presque sur mesure.

<sup>13</sup> Teulon H. 1992 thèse de doctorat, voir p. 281.

*matériaux, une amélioration de leurs performances, une extension de leurs fonctionnalités, et finalement une inversion de la contrainte dans les filières industrielles : c'est désormais l'usage qui détermine les propriétés du matériau, et non le contraire. Elle induit une augmentation de la variété des matériaux disponibles.* Et là est le phénomène que Cohendet<sup>14</sup> a nommé l'hyperchoix de matériaux. C'est à dire que guidé par des fonctions, on a, pour chaque pièce, de nombreuses options soit dans les polymères, soit dans les céramiques, soit dans les composites ou soit encore dans les nouveaux alliages métalliques.

Dans ce cadre, la complexité du choix des matériaux est croissante et le poids économique de la concurrence entre matériaux est parfois décisif. Néanmoins, la décision économique incorpore des aspects techniques et organisationnels qui sont autour des solutions apportées par des matériaux. Par rapport à l'introduction des nouveaux matériaux dans ce scénario, Maeder<sup>15</sup> a bien résumé la question : *Ces nouveaux matériaux sont plus chers que les matériaux traditionnels. Ils nécessitent donc, pour répondre aux exigences de coût, une approche différent de la fonctionnalité des différentes pièces ou composants pour leur intégration dans le véhicule. Ils imposent également une profonde modification des technologies de fabrication et d'assemblage, et de l'organisation des lignes de montage. C'est toute l'interaction conception/production qui est remise en question.* Il nous rappelle aussi trois points très importants dans ce contexte:<sup>16</sup>

- 1- Que le matériau fait partie d'une filière qui va de la matière première à la fin de vie après avoir subi des transformations et des utilisations diverses : *il n'est pas possible d'ignorer les conséquences ... des phases élaboration et fin de vie pour le choix des matériaux. Le constructeur est donc dépendant des autres acteurs de la filière, c'est à dire pour les polymères, principalement des chimistes et des transformateurs.*
- 2- Que, dans la production automobile, le matériau est un élément d'un système interactif, : *qui doit tenir compte des procédés de mise en œuvre, des technologies en place dans l'entreprise, de l'existence d'essais de validation (...) des possibilités de modélisation ou de simulation , ... car ce qui intéresse l'ingénieur ce n'est pas le matériau mais la pièce ou la fonction...*
- 3- Et que l'évolution des matériaux automobiles dans des trente dernières années révèle une décroissance des matériaux ferreux au profit de l'aluminium et des plastiques. Mais les plastiques en fait ne sont qu'une dénomination générique d'une famille très diversifiée comme on pourra constater par des exemples présentés à la fin de cet article. Par ailleurs Maeder nous rappelle que sur la Renault Laguna se trouvent 56 plastiques différents dans 592 pièces référencées. Il constate encore que dans la famille des matériaux plastiques, le polypropylène est devenu le matériau le plus important.<sup>17</sup>

En tant qu'élément d'un système interactif le matériau automobile doit subir des évaluations complexes pour être accepté dans l'ensemble de ce système. Alors, le choix d'un matériau doit répondre à des critères précis, définis pendant le projet, soit techniques et industriels, soit économiques et sociaux, et qui se situent à deux niveaux : au niveau du secteur producteur des matériaux et au niveau du secteur constructeur automobile.

Niveau producteur matériaux il faut considérer auprès des fournisseurs :

1. Les critères techniques et industriels : les propriétés spécifiques tels que la résistance, la rigidité, la conductivité thermique ou électrique etc., ainsi que les procédés de transformation des matériaux tels que fonderie, injection, traitement thermique ou encore les mise en œuvre par usinage, par emboutissage ou par métallurgie de poudre.
2. Les critères économiques et sociaux : côté économique il y a le prix du matériau, son stock de matière première, l'évolution de son marché, ses coûts, volume et rythme de

<sup>14</sup> Cohendet P., Ledoux M., J., Zuscovitch E. ; 1988.

<sup>15</sup> Maeder 1997, op. cit. note 1

<sup>16</sup> Maeder et Giosa , Les polymères pour des fonctions mécaniques et thermoplastiques dans l'automobile, 1998.

<sup>17</sup> Maeder G. 1977, op. cit

production. Côté social on trouve des critères qui touchent le consommateur comme les économies d'énergie, la sécurité et le confort, le respect de l'environnement etc....

Niveau de la construction automobile il faut prendre en compte des :

1. Critères techniques et industriels : production en série et à grande vitesse c'est à dire que même pour la fabrication en petite série, qui permet des solutions les plus innovantes, le rythme du montage final est important. Pour ne pas risquer l'échec il faut s'assurer de la compatibilité matériau/procédés/techniques d'assemblage.
2. Critères économiques et sociaux : il y a une inertie importante liée aux investissements en production, cependant les relations en partenariat avec les fournisseurs de pièces ont poussé les limites des innovations en matériau puisque ces fournisseurs sont désormais présents sur les plateaux des projets des nouvelles voitures et même travaillent en ingénierie simultanée. De toute façon les matériaux sont très amont et il faut les valider dans la phase pré projet pour apporter des solutions technologiques pendant le projet.

Les enjeux entre tous ces critères et les acteurs concernés rendent le scénario où le choix se déroule très instable et il faut veiller en permanence aux tendances techniques et sociales. Même si l'on n'espère pas des ruptures radicales en termes technologiques ou en termes de consommation par rapport à l'automobile, il est certain que des modifications plus profondes sont attendues pour le prochain siècle. Et c'est exactement pour participer à ces transformations que les partenariats ont même conduit à partager les décisions de choix des matériaux. Le tableau ci-dessous groupe les propriétés demandées aux matériaux automobiles d'après les attentes des consommateurs et celles des constructeurs.

#### **Les Matériaux Automobile vis à vis des attends de leurs Clients**

<b>Les Matériaux apportent</b>	<b>Les consommateurs cherchent</b>	<b>Les constructeurs visent</b>
Disponibilité à bas prix	Voitures à bon marché	Mise en œuvre pas cher
Insonorisation	Confort acoustique	Matériaux insonorisants
Déformation programmée*	Sécurité	Absorption des chocs
Résistant / sans entretien	résistant aux petits chocs	Flexibilité et résistance
Recyclabilité	Respect de l'environnement	Récupération du matériau
Maîtrise technique	Nouveauté technologique	Matériaux éprouvés

\* capacité des matériaux d'absorber l'énergie d'un choc violent sans la transmettre à l'habitacle de la voiture.

Par conséquent le choix de matériaux est une décision importante pour la survie d'un modèle à sortir. Et de plus il est très complexe parce qu'il embrasse à la fois plusieurs acteurs d'une filière industrielle qui devient de plus en plus diversifiée et intégrée à l'amont avec les fournisseurs matériaux, et en aval avec les constructeurs et les réseaux d'entretien. C'est un réseau de partenaires qui sont resserrés autour de la voiture dès la conception d'un nouveau modèle jusqu'à son industrialisation finale. Ils partagent de la recherche et du développement au niveau des matériaux ou des composants, des projets en ingénierie simultanée à l'aide de l'ingénierie assisté par ordinateurs (IAO), et ils arrivent à industrialiser des pièces fabriquées en nouveaux matériaux qui intègrent des fonctions tout en simplifiant le montage final en même temps.

Toutefois, malgré des efforts communs, cette apparente simplification ne facilite pas le choix d'un matériau qui reste toujours une décision complexe car même si elle cible une fonction pièce envisagée, elle en touche encore plusieurs autres qui peuvent remettre en cause des fonctions majeures de l'automobile. C'est donc la conception globale de l'automobile qu'il faut prendre en compte.

De plus il faut tenir en compte que l'évolution des matériaux se produit dans le sens où les matériaux sont le plus en plus développés sur mesure pour l'automobile. Et cette tendance là est bien le résultat des alliances et des partenariats qui sont la base de la stratégie

d'innovation globale de l'industrie automobile vers le XXI<sup>e</sup> siècle. Le scénario est celui des changements majeurs où l'avenir bouleverse même les protagonistes traditionnels des métiers métal/mécanique.

### 3) Les stratégies technologiques et industrielles

Comme les études du GERPISA l'ont déjà démontré, les stratégies construites et poursuivies par l'industrie automobile en cette fin de siècle sont celles de l'innovation et de la diversification, même si cela touche en quelque sorte, le volume de production prévu. Il faut donc concevoir de nouvelles solutions pour faire sortir des nouveaux modèles de plus en plus rapidement. Ce phénomène est connu dans le contexte de ce qu'on appelle la réduction du cycle de vie des produits, ou encore le vieillissement technologique précoce, stimulé par les exigences d'un marché globalisé. Ainsi ces stratégies ne sont pas seulement multiples en leurs conceptions et diversifiées en leurs actions, mais se présentent d'une façon intégrée dans la logique d'un processus d'innovation continu et global. La réorganisation de la production envisage l'innovation et la flexibilité en permanence.

Dans ce sens Boyer et Freyssenet (1999) parlent du tournant des années 90 vers différents modèles d'organisation productive guidés par la stratégie de l'innovation et la flexibilité de façon à garder une production en grande série et de plus en plus diversifiée à la fois. Et ils finissent par discuter les formes possibles et probables d'internationalisation et de leurs stratégies de profit associées, telles que : La stratégie « volume et diversité » ; La stratégie de « réduction permanente des coûts à volume constant » (voire augmentation de la productivité) ; La stratégie « d'innovation et flexibilité » ...

*La stratégie innovation et flexibilité implique donc une attention très fine aux évolutions qualitatives des différents marchés assez vastes pour que les demandes nouvelles représentent un volume suffisant. Le scénario de la constitution de pôles régionaux... est favorable à cette stratégie de profit, car il offre à la fois demande innovante et volume nécessaire. Dans cette hypothèse, un constructeur mettant en oeuvre la stratégie innovation et flexibilité pourrait ne pas avoir besoin de s'étendre mondialement et être parfaitement profitable à l'échelle régionale. Il pourrait être ainsi pour Honda, Chrysler et Renault, chacun étant la firme « innovation et flexibilité » dans sa région du monde. Une firme mondialisée poursuivant cette stratégie est néanmoins envisageable. Mais il faudrait qu'elle soit capable de concevoir et produire des véhicules innovants propres aux couches sociales nouvelles qui apparaissent dans les différents espaces.*

Dans le premier cas, pour garder le volume tout en diversifiant la production, la pratique la plus diffusée entre les constructeurs est celle de l'unification des plates-formes et de l'introduction de petites différences, mais qui sont les plus visibles par le consommateur telles que celles de finition intérieure ou de style, les emboutis à l'avant ou à l'arrière pour rendre la voiture plus longue.<sup>18</sup>

En fait ce que l'on cherche, c'est à réduire les coûts même en incorporant des innovations qui sont en elles-mêmes plus chères que des solutions classiques. Et cela est possible en intégrant des synergies matériau-produit-process, telles qu'on a pu le constater dans notre étude de cas sur le projet Clio II.

Le cas Renault, présenté comme exemple, est peut être la meilleure expression de cette stratégie industrielle et technologique avec un fort accent sur l'innovation en matériaux. Le scénario qui s'annonce est celui des transformations globales intégrées et synergiques qui déplace déjà des protagonistes traditionnels d'origine métal-mécanique au profit des nouvelles spécialités multidisciplinaires de la chimie, des polymères, des céramiques, de l'électronique et de l'informatique, parmi d'autres.

### 4) La gestion de la R&D et les nouveaux matériaux chez Renault

<sup>18</sup> Voir Mory (1999) qui nous donne des exemples tels que : la Golf, L'Audi A3, la Seat Skoda partagent la çême plate-forme chez VW.

Tout d'abord il faut dire qu'établir et gérer une stratégie d'innovation en matériaux automobile signifie veiller, en permanence, sur les enjeux entre recherche et développement, études et projets et sur l'organisation de la production dans les usines. Cela veut dire que le choix de nouveaux matériaux fait partie de la logique globale de l'entreprise et qui passe, depuis les années 70, par une période de restructuration la plus bouleversée de l'histoire de l'automobile.

Comme on a déjà mentionné ci-dessus, une étude réalisée par l'APEC a indiqué que ces bouleversements ont entraîné la naissance de nouveaux métiers et de nouvelles qualifications ainsi que la disparition d'emplois traditionnels de la métallurgie et de la mécanique. On assiste notamment à l'éclipse des emplois de mise en œuvre des matériaux et d'assemblage. Ainsi, les tourneurs et les fraiseurs, qui formaient les forts bataillons des ouvriers professionnels dans l'automobile, sont remplacés par les machines à commandes numériques contrôlées par des opérateurs polyvalents.

Les organisations, d'autre part, sont à l'heure de la réduction des échelons hiérarchiques, de la décentralisation et des structures transversales. Ainsi chez Renault, la ligne hiérarchique d'un établissement typique est passée de 8 à 5 échelons. Les acteurs, à tout niveau, ont une plus grande autonomie, d'où un besoin de coordination et d'animation bien plus élevé qu'auparavant, qui se traduit par une augmentation du nombre de cadres proches du terrain. "Nous sommes dans une dynamique de simplification", commente Daniel Manchon, de la Direction du Personnel Ingénieurs et Cadres de Renault, "Mais c'est l'apparence qui est plus simple. Pour rendre un produit plus facile à utiliser, vu de l'extérieur, il faut en fait accroître sa complexité interne. C'est vrai pour les produits. C'est vrai également pour les organisations. Les organigrammes en râteau sont plus simples sur le papier. Mais pour ne pas engorger la hiérarchie, il faut accroître les échanges d'information, développer le fonctionnement en réseau, et résoudre les problèmes au plus près du terrain. C'est pourquoi, aujourd'hui, il y a plus de cadres aux échelons intermédiaires."<sup>19</sup>

Pour Renault, être créatif et innovateur fait partie depuis toujours de la personnalité de l'entreprise qui a construit la première voiture, et qui a inspiré Henry Ford dans le projet Ford T, construite d'après plusieurs brevets Renault. De nos jours l'innovation est encore le noyau de la stratégie technologique et industrielle de Renault. C'est l'ex directeur général adjoint du groupe Renault-Nissan, Carlos Ghosn qui déclare sur la mission actuelle de l'entreprise : *Tout d'abord, développer l'innovation, qui figure au cœur de notre image de marque.*<sup>20</sup>

En outre, pour faire face aux nouveaux défis de l'environnement, il faut être encore plus inventif et la stratégie Renault est d'essayer des nouvelles énergies et de nouveaux matériaux sur une même plate-forme comme la gamme des Scénic multiénergies avec ses modèles à essence, diesel, et GLP en série et ses prototypes électrique et hybride.<sup>21</sup> Un exemple de cette stratégie c'est la recherche en hydrogène combustible que Renault réalise en partenariat avec COPPE/UFRJ au Brésil, ou encore en diffusant ses innovations en matériaux vers les gammes en plus grande série comme dans le cas des ailes plastiques. En faisant cela l'Entreprise tire le meilleur parti des innovations tout en amortissant les coûts de recherche et des investissements industriels des technologies innovantes. Par ailleurs des coûts, ainsi que les succès, sont tout à fait partagés avec les fournisseurs, qui sont choisis pour leurs maîtrises dans les nouvelles technologies de l'informatique, de l'électronique et des nouveaux matériaux. Ils ne participent pas seulement aux projets de nouvelles voitures mais ils partagent leurs savoirs, y compris la propriété industrielle et intellectuelle, dans les programmes recherche et développement continu.<sup>22</sup>

<sup>19</sup> APEC 1997, op. cit

<sup>20</sup> Sipek, K, « Renault trace les voies de sa stratégie long terme », 1999.

<sup>21</sup> Sipek K. op. cit. cit .

<sup>22</sup> Renault participe en 1999 à 21 accords de coopération entre constructeurs automobiles, selon le rapport annuel du Comité des Constructeurs Français d'Automobiles (15/01/99), dont 6 touchent le R&D en matériaux.

Il faut remarquer qu'une partie significative des partenariats est représentée par les accords entre constructeurs. C'est de la coopération entre concurrents. Le Comité des Constructeurs Français d'Automobile fait la veille des accords déjà signés entre les principales firmes automobiles. Le nombre d'accords en vigueur en janvier 1999 était d'environ 200 y compris les prises de participation, coopération technique, échanges d'organes etc. Nous avons fait une sélection des partenariats intégrant la participation de Renault, et parmi ceux-ci, nous avons aussi sélectionné ceux qui touchaient le R&D en matériaux. L'importance de ce segment dans la stratégie de partenariats de cette entreprise est remarquable. Le tableau suivant montre cet échantillon pour les années 90.

#### Exemples d'Accords en Vigueur entre Renault et d'autres Constructeurs Automobiles

La Description	Les Partenaires	Les Objectives
Signé en 1992 : concernant le recyclage d'épaves, l'échange d'expériences sur les méthodes et procédés de recyclage	PSA/ Renault / BMW /FIAT	Recyclage de Matériaux de carrosserie : véhicules hors d'usage
Signé en 1995 : l'étude d'impact de la dépollution et du démontage des véhicules sur la qualité des matériaux pour leur intégration dans les procédés métallurgiques.	Renault / Daimler Benz	Recyclage de Matériaux Métalliques
Signé en 1996 : Programme de recherche Européen Hydro/Gen pour intégrer une pile combustible dans un monospace Peugeot ou Citroen.	PSA/ Renault/ Solvey (Belgique) / De Nora SpA et Ansaldo (Italie)	R&D en matériaux pour les nouvelles sources d'énergie
Signé en 1997 : coopération dans le recyclage des véhicules : Renault se charge des véhicules Volvo en France, en Belgique, en Espagne et en Portugal et Volvo se charge des Renaults en Suède, en Norvège ; en Finlande et au Danemark.	Renault / Volvo	Recyclage de Matériaux : les véhicules en fin de vie
Signé en 1994 : EUROCAR* programme de R&D automobile qui succède au JRC (Joint Research Committee créée en 1980) pour une stratégie globale de R&D 40% financée par l'Union Européenne	PSA/Renault/BMW/Daimler/FIAT/ Ford/Opel/Volkswagen/Volvo	R&D en Matériaux : Il touche les domaines de la dépollution et des matériaux, des systèmes de gestion de trafic et des techniques de production.
Signé en 1998 : accord en vue du développement d'un nouveau véhicule à l'horizon 2000 dont la carrosserie serait en composite	Renault / Matra	R&D en Matériaux composites : Nouveau véhicule monospace

\* EUROCAR European Council for Automotive Research and Development

**Elaboration** Heloisa Medina **Source** : Comité des Constructeurs Français d'Automobiles ; rapport annuel, Politique de Transports - Information aux Correspondants Régionaux en le 15 janvier 1999, Collection du Centre d'Information et Documentation de Guyancourt, Technocentre Renault.

En ce qui concerne les matériaux cette stratégie est aussi efficace dans tous les cas de partenariat avec les fournisseurs quelque ce soit leur position dans l'échelle. A ce sujet le témoignage de Gérard Maeder, directeur d'ingénierie de matériaux chez Renault, (réponse à la deuxième question de l'interview schéma en annexe) est exemplaire : *Il est clair pour nous que la stratégie la plus forte est le partenariat. (...) Si on parle de R&D on la fait en partenariat parce que les matériaux, Renault ne les produit plus. Il y a 100 ans Renault faisait tout, même il y a 50 ans(...) Maintenant il faut voir que près de 80 % de la voiture est faite ailleurs, en particulier les matériaux. On doit donc travailler en partenariat avec les fournisseurs de matière, c'est à dire les chimistes, les sidérurgistes ou les fabricants*

*d'aluminium. Ensuite on doit établir un partenariat avec les transformateurs qui font les pièces. (...) La recherche très amont, on la mène souvent avec des fournisseurs, mais aussi bien entendu avec les laboratoires universitaires, parce-que ce sont eux qui font de la recherche à long terme sur les matériaux avec des appareillages que nous n'avons pas, pour vérifier les propriétés physiques, chimiques, mécaniques ... (Mais) si je prends une pièce comme les ailes plastiques on a travaillé en partenariat avec les chimistes comme GE Plastiques et les transformateurs comme Plastic Omnium. Si vous considérez l'aluminium sur la Clio II, nous avons travaillé avec Pêchiney (en série pour le capot de la version sportif de la Clio II).*

En parallèle à ce réseau qui se forme à l'extérieur de l'entreprise, il faut prendre en compte l'évolution interne du management des matériaux par rapport aux avancées organisationnelles comme les nouvelles formes de gestion par projet et le travail en groupe dans les usines. Ces transformations, encore en cours, ont commencé à avoir des effets dans les années 80.

Chanaron<sup>23</sup>, qui a étudié le management des nouveaux matériaux chez Renault depuis les années 70, a constaté qu'il s'agit d'un processus d'innovation et d'apprentissage technologique mais également d'un moyen de diffusion interne d'une nouvelle culture basée sur la chimie, au sein d'une organisation créée autour d'une culture métal-mécanique. Autrement dit, il y a des profils professionnels et industriels qui vont avec les matériaux et qui entraînent de nouvelles configurations organisationnelles dans la production ainsi que dans les activités amont comme la conception et le projet des voitures ou encore même l'activité de recherche et développement (R&D).

Néanmoins à la fin des années 90 une vraie culture de recherche se diffuse et s'affirme au Technocentre, un projet qui a réuni dans le même endroit toutes les directions dites nobles de l'entreprise, telles que de la Recherche, le Design Industriel, l'ingénierie véhicule, les Projets véhicule, les Fabrications, les Achats, les Prix de Revient, la Qualité, de l'Ingénierie des Matériaux, pour les faire travailler comme acteurs sur les plateaux de conception des véhicules. En faisant cela, Renault a rapproché les équipes projets et les métiers dans une nouvelle formule de travail et d'organisation de l'entreprise.

Bruno Cosati, chef de service fabrication prototype de Renault, nous a donné son avis sur ce sujet : *Je crois qu'effectivement les nouvelles formes de gestion de projet chez Renault ont changé des rôles et des relations des différents métiers. Et pourquoi ?*

*Premièrement, à mon avis, elles ont changé sur le plan du concept et de la démarche de développement parce qu'aux métiers, qui étaient plus ou moins indépendants, on a amené l'intérêt du projet. On a resserré les gens, je dirais petit à petit, autour du projet-produit, en réduisant les querelles d' interfaces des différents métiers. Donc, il y a eu un pouvoir fédérateur parce qu'il avait un but commun pour des gens qui, globalement, ont tous envie de faire les voitures et qui aiment le produit automobile. Donc les fédérer autour de ce concept a eu un effet qui a été très bénéfique.*

*Le deuxième élément, qui est également important, est qu'on a également fait en même temps un rassemblement physique des gens. C'est à dire qu'on a sorti les gens d'où ils étaient, là dans leurs métiers, et on les a rassemblés. C'est à dire qu'on a osé mettre des métiers les uns à côtés des autres, alors qu'avant il avait des barrières qui étaient soit des barrières physiques, soit psychologiques : il fallait pousser des portes, pousser des murs pour aller chez les uns et chez les autres, et on sait bien que sur un plan socio-professionnel ce sont des freins dans les démarches de progrès.*

*Je crois que ces deux choses là sont pour moi les deux choses essentielles qui ont fait qu'en réalité les rôles et les relations ont changé profondément grâce à cette organisation qu'on a appelée matricielle au début et qui est une organisation qu'on appelle projet maintenant.*

---

<sup>23</sup> Chanaron J. J ; (1993) Op. cit.

En 1999, un rapport de la SIA<sup>24</sup> intitulé « Le Technocentre : Un atout décisif pour l'avenir Renault », va dans le même sens en disant que Renault est alors passé d'une logique projet séquentielle à une autre de fonctionnement transversal permettant le travail en groupe effectif et cohérent. Le Technocentre est conçu pour favoriser cette façon de travailler en réunissant 7500 spécialistes, qui participent au développement d'une voiture ainsi qu'à son industrialisation, parmi lesquels 1000 sont extérieurs à l'entreprise. Ce sont des équipementiers et des fournisseurs qui, désormais partenaires, travaillent comme des collaborateurs associés. Le but de Renault est de ramener le temps de développement d'un projet (y compris la montée en cadence industrielle) à 24 mois à l'aube du prochain siècle. La Clio II a été déjà développée en 40 mois et sa montée en cadence à Flins a été de trois mois au lieu de sept mois et demi pour la Mégane.

La Clio II a été le projet le plus récent en phase avec cette manière innovante de concevoir des voitures comme produit d'une ingénierie simultanée interne et externe au constructeur. Ensemble, soit réunis au même endroit soit reliés par l'ingénierie assistée par ordinateur, tous les métiers de l'entreprise et ses fournisseurs ont inauguré un nouveau style de création collectif qui s'impose comme stratégie d'innovation globale.

### **5) Les exemples sélectionnés dans la Clio II**

Ces exemples ont été sélectionnés parmi les nouveaux matériaux utilisés dans la nouvelle version de la Clio qui est sorti en octobre 1998 en Europe et en décembre 1999 au Brésil. Ils montrent que dans une voiture les matériaux font partie d'un ensemble complexe et synergique qui se transforme en continu. Et comme résultat final, les transformations entraînées par des matériaux nouveaux rendent les voitures de plus en plus high tech, soit en procédés de fabrication des pièces, soit en montage final.

Les exemples sont aussi toujours le témoignage de la stratégie majeure d'un processus d'innovation en partenariat où tout le savoir-faire est mis au service de la voiture pour la rendre de plus en plus compétitive dans le marché mondial.

La Clio II est sortie plus équipée et moins chère que le premier modèle. C'est le résultat d'un travail de l'ingénierie simultanée, de tous les métiers et tous les fournisseurs de l'Entreprise. Une équipe de 600 personnes qui pendant 40 mois ont consommé un budget de 7,5 milliards de francs dont 4,2 milliards d'investissements industriels. En Europe la production de la Clio II est concentrée sur 3 usines Renault parmi lesquels l'usine de Flins en France (la plus ancienne en opération) qui a été toute remodelée. Avec des diminutions de 25% sur les surfaces industrielles, 19 % sur la ligne de montage et 30% sur le nombre de pièces montées par véhicule. De plus la Clio II a été conçue en cinq gammes selon la motorisation : trois à l'essence (1.2 ; 1.4 ; 1.6) et deux au diesel (1.6 16 V. et 1.9 turbo diesel injection directe) et également une version électrique pour des voitures urbaines.

Quant à la structure, c'est une voiture avec une carrosserie multimatériaux dont le capot est en aluminium (sur la version sportive 16 V.), les panneaux et portes sont en acier et les ailes avant, présentées à la suite, sont en plastique. Des solutions plastiques sont également utilisées dans certaines fonctions mécaniques. Côté bilan énergétique et de l'environnement, par rapport à la Clio I sa consommation a diminué jusqu'à 15%, et les émissions de CO2 ont été réduites jusqu'à 12%, à puissance égale.

La Clio II est le résultat d'un projet en ingénierie simultanée. C'est un nouveau style de création collectif qui s'impose, désormais, comme stratégie d'innovation globale chez Renault. Ensemble, soit réunis au même endroit soit reliés par l'ingénierie assistée par ordinateur, tous les métiers de l'entreprise et ses fournisseurs ont innové. La figure (Media Tech p.9), à la fin de cet article montre le schéma de l'organisation du projet Clio qui se

<sup>24</sup> SIA Société des Ingénieurs Automobile –<http://www.sia.fr/actualites> ; en 15/05/99.

diffuse dans toute l'entreprise, mettant en avant les attentes du client. Le tableau XIII ci dessous donne les principaux chiffres du projet.

**TABEAU XIII: LA CLIO II EN CHIFFRES ET SES RAPPORTS AVEC LA CLIO I.**

Indicadores	Resultados
Investiments: dans le projet	3,3 milliards de francs
dans l'industrialisation	4,2 milliards de francs
Réduction des coûts de production	- 12 %
Réduction des surfaces industrielles à Flins	-25%
Diminutions sur la ligne de montage	-19%
Réduction du temps de fabrication (IMVP)	-6 horas
Réduction du nombre de pièces montées	-25%
Réduction des points de soudure	-20%
Réduction des opérations pour régler le moteur	-37%
Réduction de la consommation	-15%
Réduction des émissions	-12%

US\$ 1.00 = 6.00 FF

### 5.1) Les ailes en plastique dans une carrosserie multimatériau

Les ailes plastiques appartiennent à la grande famille des polymères qui sont à l'origine des nombreux matériaux plastiques et composites qui ont des applications multiples dans l'automobile. Il faut donc mieux préciser ce matériau. Il s'agit d'un thermoplastique conducteur spécialement développé par GE Plastiques et par Renault pour être souples et résistants à la fois, et subir les hautes températures de la peinture en chaîne. (Il faut aussi noter qu'actuellement encore 90 % des pièces de carrosserie en plastique sont peintes hors de chaîne par les équipementiers.<sup>25</sup>). Ce partenariat a réussi à développer, à la fois, le matériau, le process de fabrication de la pièce et les procédés de montage dans la voiture produisant une innovation produit /process indéniable. Renault est le premier constructeur à intégrer complètement les ailes en plastique au processus industriel d'assemblage automobile.

Mais cette histoire là a commencé bien avant, au niveau des grands programmes européens de R&D automobile dans le début des années 80.<sup>26</sup> Mais jusqu'aux années 90, techniquement les points critiques étaient toujours l'adaptation des dilatations, la rigidité de pièce, la gamme peinture et le montage. Pour Renault en particulier la collaboration technique avec GE Plastique a mis dix années (1985/95) pour arriver à une fabrication des ailes en Noryl à raison de 1000 par jour destinées à la Scénic (après des applications très petites séries sur des voitures sportives R5 et Clio 16S). Et deux ans après les premières ailes plastiques, une dernière évolution a conduit à un matériau conducteur pour peinture électrostatique en chaîne : le Noryl GTX 974 actuellement utilisée sur la Scénic<sup>27</sup> et sur la Clio II.

D'un autre côté, la mise en place de cette innovation-produit sur la chaîne, a aussi apporté des innovations process dans les usines. D'abord peintes avant le montage de la caisse blanc<sup>28</sup>, parfois chez le fournisseur équipementier même, cette procédure a exigé des changements dans la ligne de montage de la caisse en noir<sup>29</sup> pour y assembler les ailes. En effet, le ferrage qui est une opération de tôlerie (par vissage ou soudage), a nécessité, pour fixer les ailes plastiques, des expertises multiples dans un métier d'excellence métallurgique.

<sup>25</sup> Meiners et Wisser, « Polymères pour les Ailes peintes en Ligne » 1997.

<sup>26</sup> Les informations sont de Xavier Gumery du Groupe PSA, Conférence prononcée au Congrès de la SIA, 1995.

<sup>27</sup> Même sur celle qui est produite au Brésil, alors que les pièces sont importées mais la fabrication sera gfaite sur place prochainement.

<sup>28</sup> Carrosserie en tôle brute, ferrée, éléments (portes, capot etc.) montés et réglés prête à recevoir les peintures.

<sup>29</sup> La carrosserie complète prête à recevoir la peinture de finition et le ponçage (polir par moyen d'un abrasif)

Et enfin très récemment Renault (1997) a mis au point une technique de fixation glissante, dont elle garde les brevets, pour arriver à des ailes peintes en chaîne avant cataphorèse.

Pour mieux démontrer le processus d'innovation global, nous allons le résumer dans ses phases plus importantes ci-dessous :

A )Le problème de Renault : produire un véhicule équipé des ailes avant souples en matériau plastique injectable fabriqué et assemblé dans ses usines c'est à dire complètement intégré dans son processus industriel.

B) La Recherche de solutions en Partenariat : 1. La conception d'un matériau ; 2. Le développement d'outillages d'injection et 3. La validation produit/process dans la ligne

1. D'abord l'innovation technologique niveau matériau : Un thermoplastique conducteur était créé par GE Plastique avec l'alliage du Polyamide 6,6 (PA 66) et du Polyoxyphénilène (appelé PPO ou encore PPE) répondant aux spécifications techniques de résistance thermique et mécanique établies par Renault. Le Noryl GTX 974 a évolué par l'introduction de noir de carbone conducteur dans l'alliage avec une nouvelle référence commerciale et des brevets dus à son caractère inédit de conductibilité électrique qui lui permet de subir la cataphorèse, puis l'apprêt, la peinture et le vernis par dépose électrostatique.<sup>30</sup>
2. Ensuite l'innovation de process de fabrication pièce par injection : un nouveau concept de moule a été développé avec JAUD pour achever la qualité et garantir la précision du design de l'aile qui change a chaque modèle (R5 , Clio Sport, Scénic, Clio II). Debuigne<sup>31</sup> nous a dit : *L'outillage qui a été développé est dit à plaque dévétisseuse ou à lunette. Pour pouvoir masquer les plans de joint, la pièce reste en matrice et est extraite à l'aide d'un robot.(...) Mais une bonne mécanique d'outillage n'est pas suffisante, pour obtenir une pièce de qualité. Nous avons étudié avec la même attention les systèmes d'injection et régulation thermique. (...) Des parties de l'outillage ont été redessinées pour que la régulation thermique soit optimale. (...) La qualité de préparation du matériau dépend également fortement de la vis de plastification. En collaboration avec GE profil de vis spécifique a été développé en utilisant des simulations numériques. Nous connaissons donc très précisément les caractéristiques du matériau en bout de vis et le domaine de transformation autorisés.*
3. Et pour finir l'innovation industrielle au niveau du montage final de la voiture, c'est à dire la production en chaîne. Pour la production en grande série il faut que toutes les pièces suivent la cadence d'assemblage et subissent toutes ces phases. Pour les ailes, cela représente d'être intégrées à des matériaux différents comme l'acier et l'aluminium pour former avec eux un seul ensemble homogène, même si le plastique se dilate dix fois plus que l'acier par exemple. En plus l'assemblage de cette pièce se fait en process de tôlerie, comme on l'a déjà mentionné. Il fallait la fixer par rapport à cinq autres pièces tout en respectant leurs fonctions spécifiques (la porte, le pare-brise, le capot avant, le bouclier et la les phares). Selon Fillon <sup>32</sup> : *Pour gérer les évolutions et laisser «vivre» la pièce en peinture tout en évitant les déformations irréversibles et des contacts entre l'aile et les pièces environnantes, il a fallu mettre au point des fixations spéciales (fixations glissantes) qui ont donné lieu au dépôt de plusieurs brevets.*

C'est encore Fillon qui donne la meilleure conclusion sur cette démarche en disant que la synergie totale entre les différents métiers a eu comme résultat, dans le projet des ailes plastiques, une vraie innovation dans le monde automobile.

## 5.2) La motorisation de la Clio II : les innovations en matériaux simplifient la production automobile

<sup>30</sup> Voir TanbaniKia et Duteurtre « Conception d'un Alliage Thermoplastique pour Aile » 1997.

<sup>31</sup> Conférence au Congrès International de la SIA, à Clermont-Ferrand en 4 juin 1997.

<sup>32</sup> Conférence au Congrès International de la SIA, Clermont-Ferrand 4/5juin 1997.

Dans l'automobile, au point de vue des matériaux, la chasse au poids est maintenant dirigée vers la recherche des pièces mécaniques les plus légères possibles pour le groupe moteur propulseur. C'est ce que l'on constate avec les plastiques, avec les rampes d'essence, les collecteurs d'admission ou alors avec d'autres matériaux à base d'aluminium pour d'autres pièces.

Les quatre exemples sélectionnés ici présentés ont été obtenus au Centre Technique de Rueil à la Direction de la Mécanique<sup>33</sup> et montrent respectivement le cas d'un choix difficile qui a changé le montage pièce, un autre choix encore en cours entre une pièce fabriquée chez le fournisseur et une autre fabriquée sur place, et encore deux changements très avantageux économiquement et qui ont simplifié les travaux dans l'atelier de montage moteur.

1° exemple : Les manchettes préformée :

Les manchettes sont ce qu'on appelle couramment bagues à lèvres. Cette pièce moteur travaille au niveau du vilebrequin et de l'arbre à cames, pour y faire l'étanchéité entre les pièces mobile et celles qui sont fixes dans le moteur. C'est une partie statique qui reste immobile au moment où l'arbre à cames et le vilebrequin bougent.

Les anciennes manchettes étaient en caoutchouc et n'avaient qu'un seul point de contact sur l'arbre à cames. Les nouvelles sont en PT-flow, qui est un tissu Téflon et elles portent sur toute une zone. Selon Pierre Pickel, le spécialiste des procédés d'assemblage moteurs, les manchettes en Téflon sont plus performantes. Il dit : *ce type d'évolution a changé le matériau et ce changement a permis d'avoir une pièce qui est moins chère, qui dure plus longtemps en fonctionnement moteur mais qui est plus complexe à mettre en place sur le moteur et qui demande un certain appareillage et du temps*. Nicolas Pousselle va dans ce sens aussi quand il précise que le montage dans ce cas est plus complexe, par rapport au caoutchouc et exige des outils et des techniques spéciaux. Les contraintes techniques pour le montage sont décrits dans les études de Nicolas Pousselle dont nous avons les schémas<sup>34</sup>.

Il faut encore remarquer que cette substitution là n'est pas possible à réaliser au moment où arrive un nouveau projet moteur, car il peut y avoir des incompatibilités au niveau du carter moteur.

2° Exemple : Le joint carter moteur en silicone

Il s'agit d'un choix entre une pièce en matériau rigide fabriquée par un fournisseur et une autre pâteuse qui peut être déposée sur place, soit par Renault soit par un fournisseur donné, mais qui influence les procédés de montage du moteur en chaîne. C'est le cas d'un joint pour la partie basse du moteur au niveau du carter cylindre et du carter inférieur.

C'est Pierre Pickel qui nous dit : *Le moteur se compose de trois parties, la partie haute, la partie centrale et la partie basse. Bien sûr entre ses éléments, il y a des joints. Au niveau du cahier des charges, la culasse est en bas et c'est donc l'étanchéité avec les carters cylindres et le carter inférieur, qui est plein d'huile, qui nous concerne. Avant on avait des joints en caoutchouc, joint polyacrylate (acrylique), qui coûtaient fort cher, et maintenant nous faisons le plus souvent avec des joints silicones. Il y a deux catégories :*

*Première catégorie de silicone : c'est celle qui correspond au " joint foulé", que l'on met directement en chaîne sur la pièce. Ce joint s'accommode en surface, en épousant bien les formes, parce que c'est un joint qui fait un peu près 3 ou 4 mm d'épaisseur et qui va s'écraser, se fouler et sécher ensuite en l'absence d'air. L'inconvénient de ce type d'étanchéité, c'est que si au montage tout est parfait, par contre au démontage, tout est collé.*

<sup>33</sup> Les informations ont été enregistrées par Heloisa Medina pendant un entretien d'une matinée avec M. Pierre Pickel, Nicolas Pousselle et Sylvain Bourdillon en 8 juin 1999. Cet entretien n'a pas suivi le schéma des interviews mentionnées.

<sup>34</sup> Voir l'annexe II de la Thèse de Doctorat de Medina, février 2000.

*Deuxième catégorie de silicone : c'est celle qui s'appelle joint prédéposé sur pièce, c'est à dire que l'on dépose le joint sur la pièce et on laisse polymériser, donc sécher pendant un temps donné, soit en accélérant ou pas, par un passage au four ou à la température ambiante. Une fois que le joint est sec sur la partie déposée, on peut monter la pièce qui est étanchée et démontable à la fois. Ceci évite tous les problèmes en après vente, car pour l'entretien on peut réutiliser le même joint.*

A ce moment là, Nicolas Pousselle nous a donné son avis : *Mais là (deuxième option) du point de vue process c'est différent : cela prend une place supplémentaire et celà nécessite un poste automatique.* Ensuite Pickel a repris la parole : *Quand on met par exemple un joint qui reste moulé, qui polymérise dans un temps donné, il faut tout faire pour éviter le problème de non-qualité, et la règle d'or dans une chaîne de fabrication, c'est contrôler en permanence ce que l'on fait. Pour tout ce qui est étanchéité on va envoyer de l'air sous pression dans le moteur et regarder s'il y a une chute de pression pour détecter une fuite éventuelle. Or l'inconvénient de ce joint qui n'est pas encore sec, c'est qu'avec la pression d'air, on peut chasser le produit, ce qui ne se produit pas avec les joints pré déposés. La rentabilité commence au point de vue investissement quand on commence à faire en site, par lieu de fabrication, plusieurs types de pièces. Mais pour une seule application ce n'est généralement pas rentable.*

Alors, Pickel nous a résumé le cas : *C'est un exemple ou effectivement Renault va faire un choix entre payer une pièce chère mais facile à monter, ou faire un process un peu complexe chez nous, ou chez le fournisseur, et qui change pas mal les conditions. En effet si on dépose nous mêmes les silicones en ligne il faut déposer le silicone, mettre en place la pièce et contrôler. S'il y a un arrêt de chaîne, il ne faut pas que le joint durcisse en chaîne. En fin de compte la difficulté au point de vue investissement, est que pratiquement les moyens que l'on met en chaîne ou que l'on met en dehors de la chaîne sont sensiblement les mêmes. Ce qui va faire le choix c'est le volume de stockage entre les deux pour que la pièce puisse polymériser.*

### 3°) Exemple ; Les rampes en plastique

Dans le sens des avantages économiques et de la simplification du montage moteur, Pickel a parlé encore des rampes plastique essence qui avant étaient d'abord métalliques, soit en aluminium soit en tôle. Il y a eu changement de matériau dans une fonction avec une pièce était faite à l'extérieur par un fournisseur. Mais le montage et l'entretien se sont simplifiés et Nicolas Pousselle a observé : *On les clique maintenant alors qu'avant on mettait un joint et un collier. Maintenant avec le plastique on fait comme ça (il a appuyé avec deux doigts), il suffit d'appuyer, ça fait "clic", comme sur des maquettes.*

### 4°) Exemple : Les sièges de soupapes en matériau fritté

Ce cas est dans la ligne des avantages globaux, car cette fois on a gagné aussi de l'espace physique dans l'atelier (exemple fournit par Pickel). C'est un changement de matière dont Renault a profité pour changer le process et la mise en place dans le montage moteur, et pour faire des économies d'énergie par le traitement du matériau : c'est le siège de soupape.

D'après Pickel : *Les sièges de soupape avant étaient traditionnellement en fonte. Le process d'emmanchement utilisait des fours pour chauffer les culasses, de l'ordre de 200 degrés, et ensuite les sièges étaient refroidis à l'aide d'azote liquide. Cette procédure permettait de dilater l'alésage des sièges et de réduire les dimensions du siège, pour pouvoir avoir une facilité d'emmanchement maximum, et une fois revenu à la température ambiante, avoir un serrage maximum. Les contraintes en chaîne étaient : les fours pour chauffer les pièces, et l'azote liquide. Il fallait une grande consommation d'énergie et de produit refroidissant, et savoir gérer le temps d'utilisation pour tous les deux.(...) Il fallait encore refroidir la culasse, ce qui était fait par ventilation, avec transport des pièces (culasses) sur des longueurs et des longueurs de convoyeurs.*

Le changement s'est passé comme nous l'a rapporté Pickel : *Nous avons profité d'un fournisseur qui nous a proposé des sièges en fritté à qui nous avons dit : Oui d'accord mais nous, ce qu'on voudrait, c'est supprimer le four et supprimer l'azote liquide. Alors il nous a proposé une pièce avec un profil différent. On a regardé la concurrence, on a regardé les*

*efforts, les tolérances au point de vue serrage, d'une pièce à l'autre, et puis les effets d'endurance et aussi le montage de ce type de pièce en nouveau matériau.*

Les économies de chauffage et d'azote liquide étaient vraiment importantes et le changement a été décidé. Mais comme l'a observé Pickel cela ne s'est pas fait du jour au lendemain. Au lieu d'une pièce usinée de façon traditionnelle, c'est une pièce fabriquée en fritté, c'est à dire au moyen de la métallurgie des poudres qui a été testée. Pendant un an des essais avec lubrification et sans lubrification ont été conduits parce que, comme a dit Pickel, *il a aussi les effets au point de vu process qui peuvent changer, parce que, dans cette pièce là, si on met l'huile il peut rester un film prisonnier. On a travaillé avec un fournisseur qui s'appelle Pleuco et en fin de compte ... Voilà avec cette pièce là on a changé de process et on a gagné beaucoup. J'ai fait l'étude sur le moteur G, qui est le grand moteur diesel de Renault, et j'avais trouvé qu'on faisait une économie de 4 F par moteur. ... Donc cela n'est pas négligeable. En prenant en compte les gains du point de vue, électrique, citernes d'azote liquide, investissements, surfaces gagnées. Cela peut aller peut être à 30 F...*

## **6) L'analyse des exemples sélectionnés**

Ce qui est intéressant dans toutes ces transformations autour d'un matériau c'est qu'on voit qu'il y a des gains techniques et économiques à la fois. Par conséquent les voitures sont de plus en plus sûres, performantes, bien équipées et moins chères. En outre les transformations dans le cadre des qualifications professionnelles concernées ne sont pas aussi négligeables y compris non seulement pour les opérateurs en chaîne mais aussi pour tous les ingénieurs et les techniciens ont qui ont travaillé ensemble avec les fournisseurs et même avec les différents métiers de l'entreprise.

Du point de vue nouveaux matériaux et procédés, les exemples présentés peuvent être regroupés selon les effets des innovations en deux grandes catégories : les effets primaires ou directs et les effets secondaires ou dérivés.

Dans le premier groupe nous avons des changements dans le projet de la pièce, des outils de fabrication pièce ou même les procédés de montage à la chaîne, en arrivant même avec de nouveaux *layout* de la ligne de montage, comme pour l'assemblage des moteurs. Les impacts de ces changements peuvent être vérifiés dans les indicateurs d'utilisation d'énergie, des matériaux, et dans la réduction du nombre des pièces et composants montés, ainsi que dans la réduction de la taille et du poids de ces mêmes parties : c'est la miniaturisation, dont Le Gal nous a parlé. Ce sont des changements directement entraînés par l'introduction des nouveaux matériaux.

Dans le seconde groupe nous classons des modifications provoquées par l'intégration des pièces et systèmes fabriqués en nouveaux matériaux, ou par un nouveau procédé. Cela arrive au moment de l'industrialisation finale du produit. Les indicateurs dans ce cas sont ceux des impacts sur la réduction des coûts, des surfaces industrielles, la diminution sur la ligne de montage, la réduction du temps total de production, ainsi que les changements des profils de main d'oeuvre, voire des nouvelles qualifications et l'automatisation. Tout cela gagne au fur et a mesure le chemin de la flexibilisation et de l'hybridisation des modèles de production, soit pour l'automobile, soit pour ses formes de production. Ce sont, pourtant, des changements dérivés de l'introduction des pièces et systèmes en nouveaux matériaux.

En revanche ce classement des innovations prises pour exemple ne sont que des formes de visualisation du processus d'innovation global que nous soutenons en tant que concept central de cette thèse. Les matériaux automobiles sont améliorés en continu et les nouveaux projets, comme celui de la Clio II, ne font que diffuser la logique des innovations majeures en permanence dans l'industrie automobile. Les deux tableaux à la suite présentent schématiquement les résultats de notre analyse ci-dessus.

**TABLEAU : EFFETS DES INNOVATIONS ETUDIÉS SUR L'INDUSTRIALISATION DE LA CLIOII**

Exemples	Les Ailes en plastique	Les manchettes en Téflon	Les Joints en Silicone	Les Sièges soupapes en fritté	Les rampes en plastiques
Changement de lay out à l'usine	Oui	Non	Non	Oui	Non
Re-projet la pièce (redesign)	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Nouveaux procédés ou techniques montage pièces	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Réduction du nombre, taille, et poids des pièces.	Oui	Non	Oui	Oui	Oui
Simplification au montage final	Oui	Non	Non	Oui	Oui
Nouveaux profils de qualification	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Réduction des coûts de production	Non	Oui	Oui	Oui	Oui
Réduction des surfaces industrielles	Non	Non	Non	Oui	Non
Réduction du temps total au montage	Oui	Non	Non	Oui	Oui

**TABLEAU : INNOVATIONS INTEGRÉES : MATERIAUX, PROCESS, PRODUITS ET MONTAGE**

Origine de l'Innovation	Nouveau Matériau ou procédé de fabrication	Les avantages : matériau ou procédés	Industrialisation finale
Transfert à d'autres secteurs	Téflon pour les manchettes préformées	Matériau avec plus de résistance, de stabilité et d'étanchéité.	Exige des changements au niveau projet des pièces et du montage.
Transfert suivi d'adaptation pour les fonctions automobiles	Silicone pré-déposé pour des joints carter moteur	Polymérisation <i>in situ</i> , meilleur pour l'étanchéité et peut être réutilisé	Fabrication et montage de la pièce en simultané, réduction des fournisseurs et du temps de fabrication.
Développement en partenariat avec l'industrie chimique	Noryl GTX974 plastique conducteur pour les ailes avants	Légère, malléable avec plus de résistance thermique et mécanique	Exige des nouvelles techniques de fixation de la pièce et du montage de la carrosserie
Développement des procédés métallurgiques	Sièges pour les soupapes en acier fritté	La métallurgie de poudre optimise les propriétés physiques des métaux et produit des pièces de meilleure qualité.	Re-projet pour la meilleure précision de la pièce, élimine l'usinage et gagne des surfaces.
Diffusion des plastiques pour des fonctions mécaniques	Joints, et rampes en plastique essence	Les plastiques injectés sont plus flexibles, légers et plus faciles à monter	Fixée par pression, élimine points de soudure et dispositifs de fixation, simplifie le montage.

**Conclusion :**

Nous avons décrit la démarche Renault vers un processus d'innovation globale suivant la stratégie des savoirs partagés, avec des partenaires participant à long terme à la création et au développement d'un matériau qui réponde aux objectifs fonctionnels et industriels à la fois. Nous avons vérifié, par des exemples, que des innovations intégrées matériau/produit/process au niveau fabrication pièce et au niveau montage final, ainsi que des innovations industrielles et organisationnelles qui vont avec, donnent au secteur automobile un nouveau profil. L'industrie automobile commence à être reconnue comme un secteur qui touche les technologies high-tech en se modernisant à l'aide des spécialistes dans le domaine de la chimie et de la science et de l'ingénierie des matériaux.

Cette conclusion apporte à l'analyse du processus d'innovation et du développement industriel deux conséquences principales : une au plan théorique et l'autre pour les études empiriques surtout pour les pays en développement, où cette industrie est en forte expansion, comme c'est le cas au Brésil.

Théoriquement elle remet en cause les approches du processus d'innovation basé sur les taxonomies, déjà classiques, de classement des innovations selon son objet, tel que l'innovation produit ou l'innovation process ou encore selon le lieu ou le domaine où elles se produisent, telles que les innovations technologiques, les innovations industrielles ou les innovations organisationnelles. Sont également insuffisants les concepts de R&D&I où la recherche se coupe entre théorique ou scientifique versus appliquée ou technologique. Les développements technologiques ou industriels sont aussi séparés et tous les deux sont très éloignés de l'ingénierie qui est vue comme un aboutissement final, mais toujours mais plein de savoir pratique, non codifié, parfois même sans valeur scientifique. La stratégie d'innovation globale et continue, dont Renault a fait la preuve de son efficacité, montre à l'évidence qu'on a besoin d'autres approches et d'outils d'analyse plus proches de la réalité, que l'on a envie de comprendre.

Par contre, empiriquement, les années 90 nous ont apporté beaucoup d'exemples de firmes qui ont su développer des nouvelles formes d'organisation tout en profitant de l'électronique, de l'informatique et des nouveaux matériaux pour se faire plus compétitives dans un processus d'innovation continue, croissante et qui intègre de plus en plus des compétences diverses. Dans ce cadre, les études en continu sur le secteur automobile peuvent enrichir les analyses du processus d'innovation et entraîner le développement de nouvelles approches théoriques.

Le Brésil, par exemple, se trouve au bon moment pour rattraper ses faiblesses dans les champs de l'organisation de la production industrielle tout en testant de nouvelles formules globalement innovantes dans la mesure où il se sent, en quelque sorte, encore maladroit dans le fordisme. En fait, il se peut que l'industrie automobile brésilienne ne soit jamais vraiment arrivée, ni à la conception ni à la performance fordistes, et qu'elle se modernise encore lentement. Il y a donc, fort besoin de ce type d'étude pour orienter la recherche technologique, soit en matériaux et leurs procédés et traitements, soit en process de montage et organisation de la production dans les usines. Enfin, l'industrie automobile est la plus grande consommatrice de matériaux, en quantité et diversité, au monde et le Brésil ne peut pas se passer de s'intégrer dans ces filières.

Bref les recommandations finales pour le Brésil portent sur l'ouverture et le maintien des lignes de recherche en partenariat entre les entreprises, les centres de recherche et les universités tout en regardant des thèmes centraux pour le secteur automobile tels que :

- L'automobile et l'environnement (y compris les nouvelles motorisations)
- Le recyclage automobile
- Le projet automobile comme diffuseur d'innovations
- L'apprentissage par projet

## **BIBLIOGRAPHIE :**

APEC - *Association pour L'emploi des Cadres* -, 1997, Les Métiers de L'automobile, Paris, Les Editions D'organisation.

BOMSEL, O., et ROSS Ph., 1989, "La concurrence entre matériaux dans la nouvelle dynamique industrielle", *Annales des Mines*, pp16-22, mai.

BOYER R., FREYSSENET, M., 1997, "The world that changed the machine: some conclusions ; successful firms 1974 to 1992, in *La Lettre du GERPISA*", N° 117, Paris, novembre.

CHANARON J.J., 1993, "Le management des matériaux nouveaux : le cas de Renault", *Les Cahiers du Management Technologique*, Ecole Supérieure du Commerce de Grenoble, VII-2, pp15-35.

- COHENDET P., LEDOUX M., J., ZUSCOVITCH E. 1988.; "New Advanced Materials : Economic Dynamics and European Communities" English version edited by Marc J. Ledoux ; Springer Verlag ; Weihert-Druck GmbH&Co. KG ; Darmstadt; Germany.
- DEBUIGNE, 4/5 1997, "Fabrications des Ailes de Carrosserie", conférence au *Congrès Internacional de la SIA à Clermont-Ferrand*, 4/5 juin.
- FILLION F., 1997, "Conception et Validation Produit/process Ailes Scenic", conférence au *Congrès Internacional de la SIA à Clermont-Ferrand*, 4/5 juin.
- FREYSSINET e BOYER, 1999, "L'Avenir est à Nouveau Ouvert", *Gérer et Comprendre, Annales de Mines*, pp 21-30, juin.
- HOUCHON, 1997, "Developpement des Ailes de Mègane Scenic Historique et Motivation", conférence au *Congrès de la Société des Ingénieurs de L'Automobile –SAI-*, 4-5 juin.
- MAEDER G., 1995, "From Dream to Reality: which strategy for new materials?" , *VDI Berichte* Nr 1235, pp321-340.
- MAEDER G., 1998, "Le choix des matériaux dans l'industrie automobile", présenté au Colloque SF2M *Les Méthodes de choix de matériaux*, no INSA Lyon, en nov. 1997 et publié en *Matériaux et Techniques*, N°7-8, pp. 39-47, Paris, France.
- MAEDER G. "Pourquoi alléger, comment alléger", Colloque SF2M à Douai en 26/11/98
- MAEDER G. ET GIOISA, 1998, "Les polymères pour des fonctions mécaniques et les thermoplastiques dans l'automobile" article présenté au colloque « Les journées Européennes des Matériaux Polymères dans L'automobile (JEMA) en 3 et 4 février 1998 Le Havre, France.
- MEDINA H.V., 1998, "Materiais Avançados : Novos Produtos e Novos Processo na Indústria Automobilística", *Revista Produção*, vol 8, N° 1, pp. 29-44, Brasil, jul..
- MEDINA H.V., 2000, " Le Projet et la Diffusion des nouveaux matériaux dans l'industrie Automobile" Thèse de doctorat en Ingénierie de la Production à L'université Federale du Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ.
- MEINERS ET WISSER, 1997, "Polymères pour les Ailes peintes en Ligne" Conférence au Congrès International de la Société des Ingénieurs de l'Automobile (SIA), 4-5 de juin à Clermont-Ferrand.
- MORY C., 1999, "Plus c'est pareil, plus ça change", *Lettre du Gerpisa N° 134*, p. 6, Juillet.
- MOUSTACCHI, A., PAYAN, J-J., 1999, L'automobile: avenir d'une centenaire, France, Dominos/Flammarion,.
- SIA - Société des Ingénieurs Automobile – <http://www.sia.fr/actualites> ; en 15/05/99.
- SIPEK K., 1999, "Renault trace les voies de sa stratégie long terme", en R&D le magazine de la Recherche et du Développement N° 12 avril /99, édité par Renault, p 48-49.
- TANBANKIA ET DUTEURTRE, 1997, "Conception d'un Alliage Thermoplastique pour Aile" présenté au Congrès International de la SIA en 04 juin à Clermont-Ferrand.
- TEULON H., 1990 "L'analyse fonctionnelle pour le Choix des Matériaux : une source de compétitivité", *Revue Matériaux et Techniques* pp.1-06, France, mai.
- TEULON H., 1992, Thèse de doctorat en économie industrielle, "Fonctions, concurrence et progrès technique : la diffusion des innovations en matériaux" L'école de Mines, Paris, jan.
- TICE D., NURUK, J., HEIDEMAN, R., and FRITZ P., 1996, "Materials Selection for Auto Parts", in *Advance Materials &Process* ,pp. 41-43.
- LASTRES H.M., 1994, "Advanced Materials and the Japanese System of Innovation", *Phd Thesis at University of Sussex, UK.*, published by St. Martin Press, Inc., Nova York.
- MEDIATECH, 1998, "Special Clio", publication des Ressources Humaines editée par Renault, N° 13, mai, 113 páginas.
- MEDINA H. V., 1995, "Competitividade e Intensidade Tecnológica da Indústria Brasileira : uma Contribuição para um Sistema de Indicadores de Competitividade", thèse de MSc. en Engenharia de Produção na COPPE/UFRJ, décembre.
- OECD (Organization for Economic Co-operation and Development), 1992, relatório

preparado por Adamian R. e Willinger M. « *Difusion of Advanced Materials in the transportation Sector* », Dictorated for Science, Technology and Industry, Committee for Scientific and Technological Policy, Restricted drafted 14 sep., DSTI/STP(92), Paris, France. RENAULT, "Renault : 1898-1998 : Un siècle d'innovation et de passion automobile", Report Interne, 4 fevrier 1998, pp. 22.

## LES INTERVIEWS CHEZ LES SPÉCIALISTES RENAULT

Les interviews ont été guidées par des questions «ouvertes» permettant aux interviewés de se prononcer librement sur les divers sujets abordés. Les questions étaient divisées en cinq blocs qui représentent les différents thèmes considérés importants pour l'analyse des pratiques récentes de modernisation dans l'industrie automobile tels que : l'activité de projet (notamment le choix de matériaux), les innovations, l'apprentissage, le R&D en générale et celle spécifique aux matériaux. En outre, les interviewés ont été sollicités sur des questions spécifiques selon la spécialité des interviewé et son degré de connaissance du projet Clio II choisi comme référence dans notre thèse.

Les interviewés selon ce schéma ci-dessous étaient : M. Gérard Maeder Directeur de l'Ingénierie des Matériaux, M. Joël Le Gal expert fonderie de la Direction de l'Ingénierie des Matériaux, M. Bruno Cosatti Chef de Service Fabrication Prototypes de la Direction du Développement de l'Ingénierie Véhicule et M. André Massias, Chef du Département de L'Ingénierie Véhicule Décentralisé et ex-chef de Projet Industriel Clio II.

Nous avons eu des entretiens, en dehors de ce schéma, notamment à la Direction de la Recherche, avec M. Bernard Criqui, notre principal correspondant chez Renault occupant la fonction de Secrétaire Technique du Département de Procédés et Traitement des Matériaux, et M. Jean Claude Monnet Chef du Groupe de Recherche en Socio-économie.

D'ailleurs nous nous sommes rencontrés, à la Direction de la Mécanique, avec M. Sylvian Bourdillon, Chef du Service de l'Industrialisation de l'Ingénierie de Production Moteurs. Notre rencontre s'est passée au Centre Technique de la Mécanique à Rueil où nous avons interviewé M. Pierre Pickel, spécialiste Procédés d'Assemblage Moteurs et Nicolas Pousselle, ingénieur de l'Ingénierie de Production Moteurs. Il nous faut préciser que ces entretiens ont été conduit différemment. Les interviewés ont présenté des exemples qu'ils ont sélectionnés selon leurs expériences dans les projets de moteurs qui sont sur la Clio II, et aussi d'après les questions qui ont été envoyées à M. Bourdillon par fax.

Il reste à mentionner que tous les interviews étaient enregistrées et que tous les interviewés ont reçu des questions spécifiques en avance, soit par fax soit par email, aussi bien que une première version des transcriptions. Les comptes rendus que nous présentons ci-devant gardent donc une forme à peu-près orale puisque nous envisageons de rester le plus fidèle possible aux témoignages recueillis.

## LES QUESTIONS

- **Les nouvelles formes de gestion de projet**

- 1) *Dans quelle mesure les nouvelles formes de gestion de projet chez Renault sont-elles déjà diffusées au niveau de l'organisation de la production dans les usines ?*
- 2) *En effet, croyez-vous que la logique projet est-elle déjà intégrée dans la stratégie de l'organisation, c'est-à-dire dans toutes les fonctions et métiers, voire : études, méthodes, R&D, ingénierie véhicule, matériaux, marketing etc. ?*
- 3) *A votre avis quels sont les rapports plus importants entre les nouvelles méthodes*

*de pilotage de projet et l'apprentissage organisationnel ou même collectif ?*

*4) Comment ces méthodes, par exemple l'ingénierie simultanée, influencent-elles le choix des matériaux dans le projet ?*

- **Les innovations**

*5) Croyez-vous que le rythme des innovations dans les matériaux automobile est actuellement plus rapide qu'auparavant, c'est-à-dire le processus d'innovation s'est-il accéléré en cette fin de siècle ?*

*6) Comment est-ce que vous voyez ces innovations dans l'ensemble de l'organisation industrielle et surtout dans le processus actuel vers des nouvelles formes d'organisation du travail ?*

*7) A votre avis, quel rôle jouent-ils les nouveaux matériaux dans le marketing de la voiture ?*

*8) Selon vous le concept de la voiture a-t-il beaucoup changé dans son premier siècle et comment le voyez-vous dans le prochain siècle ?*

- **L'apprentissage, les qualifications et la diffusion de la logique projet dans l'organisation**

*9) A votre avis aujourd'hui quels sont les savoir les plus valorisés dans l'industrie automobile ?*

*10) Par rapport aux qualifications professionnelles, trouvez-vous que les innovations en matériaux ou technologiques en général sont-elles facteur d'enrichissement du travail ?*

*11) Quelles sont les modifications qui ont été introduites dans le programme de formation interne à propos d'un nouveau matériau ou d'une nouvelle technologique correspondante ?*

*12) Selon votre expérience quels sont les métiers qui ont été entraînés ou qui ont disparu par le développement des matériaux automobile dans les années 80/90 ?*

- **Le R&D en matériaux : stratégies et pratiques**

*13) A présent quelle est la plus forte stratégie chez Renault en ce qui concerne les nouveaux matériaux : la recherche et développement directe ou en partenariat soit avec les concurrents, soit avec les fournisseurs ou encore avec les universités ou centres de recherche ?*

*14) Quelles sont des solutions que vous connaissez qui ont été apportées par des acteurs externes à l'entreprise, par exemple les fournisseurs ?*

*15) A l'intérieur de l'entreprise d'où viennent la plupart de telles solutions, soit au niveau des départements soit selon les catégories professionnelles ?*

*16) Dans quelle mesure, les nouveaux matériaux et leurs technologies associées incorporées dans la Clio II ont-elles été développées directement par Renault ?*

- **Le Choix des Matériaux**

*17) Parmi les principaux rôles que jouent les nouveaux matériaux dans la sécurité, le confort, la réduction de la consommation et, par conséquent, des impacts sur l'environnement, lequel devance-t-il les autres ?*

*18) Parmi les nouveaux matériaux automobiles qui ont été introduit depuis 10 ans, lesquels ont posé les plus grands défis, soit au niveau des procédés et traitements, soit au niveau du montage ?*

*19) A votre avis, où se trouvent les principales innovations en matériaux : dans les projets des nouveaux modèles comme celui de la Twingo ou dans ceux qui sont faites d'après des modèles déjà commercialisés, comme celui de la Clio II ?*

20) *D'après vous, quelles sont les solutions les plus remarquables en ce qui concerne les développements des matériaux par rapport aux techniques d'assemblage ?*

21) *Et parmi celles-ci lesquelles ont apporté les résultats les plus efficaces par rapport aux critères qui ont commandés le choix d'un nouveau matériau ?*

- **Les exemples dans la Clio II** <sup>35</sup>

1. *Pensez-vous que la ligne de montage Clio II a beaucoup changé par rapport à celle de la Clio I en ce qui concerne les techniques, les outils et même le layout dans les ateliers ?*
2. *Quels ont été les modifications mise en place en chaîne à l'usine de Flins pour la Clio II qui n'ont pas été prévu dans le projet ?*
3. *Est-ce qu'il y a des cas de reconception du paire pièce/montage liés à un nouveau matériau ?*
4. *Dans quelle mesure le processus d'assemblage de la Clio II a-t-il été simplifiée par rapport à la Clio précédente en ce qui concerne :*
  - 4.1) *la ligne de montage final (simplification; réduction de l'espace industriel)*
  - 4.2) *Les ensembles des pièces montés (réduction du nombre)*
  - 4.3) *les procédés d'emboutissage, de la tôlerie, et d'assemblage de pièces ;*
  - 4.4) *les procédés de fixation, collage, et soudure (réduction du nombre)*
  - 4.5) *le temps et les étapes de fabrication épargnée (simplification et réduction)*
5. *Dans les exemples de nouveaux matériaux pour la Clio II tels que : les ailes en composites, le capot en aluminium ou d'autres, soient liés à la motorisation ou au procès de rabotage laser, qui ont entraînés des modifications par rapport aux aspects industriels signalés là-dessus ?*
6. *Connaissez-vous d'autres exemples, parmi les modifications signalées ci-dessus, qui sont de quelque sorte liés aux changements de matériaux ?*

---

<sup>35</sup> Ces questions était destinées a M. Bernard Houchon qui nous a conseillé de les présenter à M. Sylvian Bourdillon et à M. André Massias, ce que nous avons fait par fax dans le premier cas et personnellement dans le seconde.