



**HAL**  
open science

## Le développement des plastiques renforcés dans l'industrie automobile

Pierre Fernandez, Benoît Maes

► **To cite this version:**

Pierre Fernandez, Benoît Maes. Le développement des plastiques renforcés dans l'industrie automobile. Sciences de l'ingénieur [physics]. 1982. hal-01909913

**HAL Id: hal-01909913**

**<https://minesparis-psl.hal.science/hal-01909913>**

Submitted on 31 Oct 2018

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE  
DES MINES DE PARIS

MINISTERE DE LA RECHERCHE  
ET DE L'INDUSTRIE



[143]

LE DEVELOPPEMENT DES PLASTIQUES RENFORCES  
DANS L'INDUSTRIE AUTOMOBILE

**Consultation  
sur place**

PIERRE FERNANDEZ  
BENOIT MAES

JUIN 1982

## R E S U M E

La compétition qui oppose l'acier aux plastiques renforcés pour la réalisation de pièces de carrosserie automobile est déjà ancienne : elle a en effet débuté il y a plus de 30 ans. Toutefois, elle connaît actuellement de nouveaux développements : Citroën commercialisera en septembre 1982 un véhicule - la BX - destiné, en principe, à une large diffusion et comprenant plusieurs pièces de carrosserie (capot, hayon et custodes) en plastique renforcé ; d'une façon générale, tous les constructeurs mobilisent d'importants moyens d'étude sur ce thème depuis deux ou trois ans.

L'intérêt qu'ils portent à ce matériau repose essentiellement sur trois raisons : réduction des coûts, allègement, résistance à la corrosion. Seule la première est déterminante : si l'on excepte les cas où l'utilisation des plastiques renforcés est imposée par les choix effectués en matière de style, l'aptitude des plastiques renforcés à diminuer les prix de revient des pièces automobiles est une condition sine qua non à leur adoption. Tout au plus les constructeurs peuvent-ils consentir à un surcoût temporaire, lié à l'acquisition d'une technique nouvelle pour eux ; en revanche, tout surcoût permanent - fût-il la contrepartie d'un allègement générateur d'économies sur la durée de vie du véhicule - est prohibitif.

Les efforts effectués depuis plusieurs années pour réduire les temps de cycle et accroître l'automatisation de la mise en oeuvre des plastiques renforcés leur permettent désormais de satisfaire cette condition dans de nombreux cas. Toutefois, leur compétitivité vis à vis de l'acier varie considérablement d'une pièce à l'autre. En effet, les plastiques renforcés sont handicapés par un prix de matière première très supérieur à celui de l'acier ; leur aptitude à surmonter ce handicap est subordonnée à la possibilité d'intégrer en une seule pièce des fonctions précédemment réalisées par des pièces métalliques différentes, et par là-même de réduire les coûts d'assemblage. Cette condition n'est pas toujours réalisée ; les carrosseries hybrides, associant, comme celle de la BX, métaux et plastiques seront donc la règle.

La nécessité de coexister avec l'acier sur une même carrosserie impose aux plastiques renforcés des contraintes très lourdes : aucune discontinuité dans l'aspect entre deux pièces voisines n'est tolérée ; en outre, les plastiques renforcés doivent s'adapter aux températures très élevées - 180° environ - des chaînes de peinture conçues pour les métaux.

Satisfaire ces exigences implique une optimisation de la formulation de ces matériaux, c'est à dire du choix et du dosage de ses constituants (résine polyester, fibre de verre, additifs divers). La mise au point de formulations satisfaisantes requiert une étroite collaboration entre les divers acteurs impliqués par ces réalisations : constructeurs, transformateurs, producteurs de matières et semi-produits, fabricants de machines et de moules. Or plusieurs considérations sont de nature à dissuader certains de ces acteurs à s'engager dans cette coopération :

- par tradition, les constructeurs sont peu habitués à collaborer étroitement dès la conception d'une pièce avec des partenaires extérieurs susceptibles de développer un produit nouveau. Ils sont en outre perçus comme des partenaires infidèles, essentiellement soucieux de minimiser en permanence le coût de leurs achats et susceptibles de diffuser des technologies pour assurer la sécurité de leurs approvisionnements ; aussi l'attentisme peut-il se révéler plus payant pour leurs fournisseurs qu'une stratégie coûteuse de développement de produits nouveaux.

- la fibre de verre est un produit banalisé : la concurrence s'effectue principalement sur les prix. Les fabricants n'ont donc pas intérêt à se pénaliser en imputant sur leurs prix de vente des frais de développement aval. Paradoxalement, ils ont pourtant joué un rôle moteur dans ce développement, poussés par la nécessité de développer un marché fortement surcapacitaire ; mais ils ne peuvent à eux seuls maîtriser une activité - la formulation - très éloignée de leur métier traditionnel.

- les fabricants de polyester sont, de par leur activité, les plus à même de développer des formulations nouvelles ; mais ils sont handicapés par le fait qu'ils appartiennent - au moins en Europe - à de grands groupes chimiques dont ils ne constituent qu'une part marginale, déclinante et peu rentable du portefeuille d'activités.

Face à cette situation les logiques classiques d'intervention des Pouvoirs Publics se révèlent peu adaptées ; en fait le rôle le plus efficace que puisse jouer l'Administration est sans doute celui d'entremetteur. Le programme 3 litres - par ses effets indirects - fournit à cet égard un exemple intéressant : ce programme a en effet amené les constructeurs à entamer de nombreuses coopérations avec des partenaires extérieurs. De plus, il a contribué à renforcer la position des hommes de la recherche au sein des groupes automobiles.

Le développement des plastiques renforcés dans l'automobile sera lent ; il pourrait de plus n'être qu'éphémère. En effet, le desserrement de contraintes actuellement prohibitives, notamment la température de cuisson des peintures, pourrait favoriser l'émergence d'autres matériaux - thermoplastiques non renforcés, en particulier.

Au sein même des plastiques renforcés, le débat reste très ouvert entre les différents modes de transformation possibles ; aussi les constructeurs sont-ils confrontés à une incertitude technologique qui devrait les dissuader de s'engager massivement dans une voie particulière et favoriser le recours à la sous-traitance, au prix d'une poursuite de la baisse de leur valeur ajoutée, déjà amorcée depuis plusieurs années.

## PLAN

### Introduction

#### I - Le véhicule aujourd'hui

1. la domination des métaux
2. les trois territoires
3. le champ de bataille actuel

#### 2 - Pourquoi changer de matériau ?

1. un processus long et interactif
2. l'allègement n'est pas un critère déterminant
3. trois dérogations à la règle du prix de revient

#### 3 - La guerre des matériaux : le point de vue des experts

1. la veille technologique
2. les points de consensus
3. les points de désaccord

#### 4 - La guerre des matériaux : le point de vue des stratèges

1. les nécessaires collaborations
2. faut-il courtiser une mante religieuse
3. l'affrontement des logiques

#### 5 - L'administration à la recherche d'un rôle

1. la logique Défense Nationale
2. la promotion des technologies nouvelles
3. un rôle d'entremetteur

#### 6 - Perspectives

1. un enjeu considérable
2. une évolution lente mais probable
3. l'industrie automobile de demain

### Conclusion

## LISTE DES ANNEXES

- Annexe 1 : Répartition par type de matériaux du poids d'une Renault 5
- Annexe 2 : Evolution du poids des matières plastiques dans les véhicules de la Régie Renault
- Annexe 3 : Principe du calcul des prix de revient chez un grand constructeur
- Annexe 4 : Les matériaux et leurs perspectives d'utilisation
- Annexe 5 : Données chiffrées sur l'utilisation des plastiques renforcés dans l'industrie automobile européenne.
- Annexe 6 : Les grandes catégories de matières plastiques
- Annexe 7 : Liste des personnes rencontrées.

## I N T R O D U C T I O N

Le foisonnement des projets visant à substituer divers types de matériaux à ceux qui sont actuellement utilisés dans l'industrie automobile est considérable ; pour qui se pose la question de savoir de quoi sera faite l'automobile de 1990, il ne laisse pas d'engendrer la perplexité.

Il nous est apparu, pour des raisons qui sont exposées dans la partie I, complétée par l'annexe 3, que la compétition opposant l'acier aux plastiques renforcés pour la réalisation de pièces de carrosserie était celle qui pouvait entraîner les bouleversements les plus considérables d'ici la fin de la décennie ; aussi ce document est-il consacré à l'examen de cette compétition.

La deuxième partie est consacrée à l'étude des critères qui président au choix des matériaux par les constructeurs ; les atouts des plastiques renforcés au regard de ces critères font l'objet de la partie 3.

Le développement des plastiques renforcés met en jeu de nombreux acteurs ; l'examen des logiques auxquelles ils sont soumis, des stratégies qui en découlent et de leur compatibilité avec ce développement est abordé dans la partie 4. La force de l'atavisme nous a amené à consacrer une partie entière - la cinquième - à un acteur particulier : l'Administration.

Enfin, dans la partie 6, nous avons indiqué les évolutions qui, compte tenu des éléments précédents, nous ont paru les plus probables d'ici 1990, et examiné leurs répercussions possibles pour les constructeurs automobiles.

## I - LE VEHICULE AUJOURD'HUI

### 1 - La domination des métaux

Si de très nombreux matériaux entrent dans la composition d'un véhicule, deux d'entre eux y occupent une place de premier plan : l'acier (45% environ du poids moyen d'un véhicule) et la fonte (30% du poids). Aucune des autres catégories de matériaux utilisés à l'heure actuelle - élastomères, plastiques renforcés ou non, aluminium, verre, papier et carton - ne dépasse 6% du poids total du véhicule.

(cf Annexe 1 : répartition par types de matériaux du poids d'une Renault 5)

### 2 - Les trois territoires

Un véhicule se compose d'environ 15 000 pièces, qui sont autant de terrains de bataille potentiels pour les matériaux. Si chaque pièce possède des caractéristiques spécifiques, il est néanmoins commode de les regrouper en trois grandes catégories, au sein desquelles la compétition entre les matériaux présente des similitudes :

- les pièces mécaniques (moteur, roues, freins, suspension, transmission ...)
- les pièces de structure (châssis et carrosserie)
- les pièces d'équipement et de garnissage (sièges, tableaux de bord, rétroviseurs ...)

Les deux premières catégories sont presque exclusivement le domaine de l'acier et de la fonte (\*). La troisième est désormais investie par les matières plastiques, au terme d'un processus de substitution amorcé il y a trente ans, (cf annexe 2 : évolution du poids des matières plastiques dans les véhicules de la Régie Renault).

(\* ) avec deux exceptions : les pneumatiques (élastomères) et les vitres (verre plat).

### 3) Le champ de bataille actuel

Il va de soi que les constructeurs, qui tiennent à jour en permanence un catalogue des différents matériaux disponibles (1) disposent de très nombreux projets de substitution, élaborés par leurs laboratoires ou leurs fournisseurs. C'est ainsi qu'aux Etats Unis, Ford a réalisé un véhicule prototype à base exclusivement de fibres de carbone - Sans être aussi systématiquement centrés sur un matériau unique, des projets analogues abondent également en Europe (cf par exemple les projets VSS, EVE et VERA chez Fiat, Renault et PSA).

Toutefois, si l'on examine les substitutions

- réellement effectuées ou susceptibles d'être réalisées à court terme,

- et pouvant provoquer des transferts massifs au sein des différentes familles de matériaux d'ici la fin de la décennie (2)

il apparait que le principal champ de bataille est actuellement celui des pièces de carrosserie, et que, parmi les nombreux matériaux candidats à la succession de l'acier, le polyester renforcé de fibre de verre (3) est, au moins en France, le mieux placé.

L'introduction de ce matériau, déjà ancienne - elle a débuté il y a plus de 25 ans - a été marquée par trois grandes étapes :

- en 1955, la réalisation de pavillons en PFV pour les Citroën DS et ID ;
- en 1972, le choix du PFV pour les boucliers de la Renault 5 ;

(1) Ce point sera développé en 3.1

(2) Ce que conduit à éliminer à la fois les pièces de petite dimension et les véhicules de faible diffusion.

(3) Que nous désignerons par la suite par le sigle PFV

- en 1982, la décision prise par Citroën de réaliser sur la BX, dont le lancement est prévu pour Septembre 1982, trois pièces en PFV :

- le capot avant
- le hayon arrière
- les custodes latérales.

Pour éclairer ce conflit, il convient d'examiner tout d'abord la logique qui préside au choix des matériaux par les constructeurs, ainsi que le déroulement du processus de choix.

## II - POURQUOI CHANGER DE MATERIAU ?

### 1) Un processus long et interactif

Le choix d'un matériau pour une pièce d'un véhicule est un processus long auquel participent de nombreux intervenants au sein même du groupe automobile. Nous tenterons donc tout d'abord de répondre aux questions suivantes :

- Quels sont les centres de décision ?
- Dans quels délais ces décisions sont-elles prises ?

Il faut pour cela suivre l'histoire d'un véhicule depuis sa conception jusqu'à sa commercialisation.

La décision de lancer des études pour un nouveau véhicule incombe évidemment à la direction générale. La première définition de ce véhicule est en fait un positionnement dans la gamme : seuls le prix et les caractéristiques très générales du véhicule sont alors fixés, en partant d'une analyse du marché. Les stylistes sont les premiers à préciser la physionomie du véhicule, et à proposer une ligne. Lorsque la géométrie des formes est suffisamment affinée, les premières ébauches sont transmises au bureau d'études (B.E) qui a la charge de mener à son terme l'élaboration du projet, en fournissant finalement les plans détaillés de chacune des pièces du véhicule (et précisant donc notamment le matériau retenu). Si le bureau d'études a un rôle de pilote durant cette phase, il n'en reste pas moins qu'il s'agit d'un processus très interactif, donnant lieu à des arbitrages parfois à haut niveau.

Il s'écoule environ 4 ou 5 ans entre le moment où le B.E. est saisi du projet et la sortie du véhicule.

Dans la perspective du choix des matériaux, diverses étapes se succèdent durant cette phase :

- Le bureau d'études fournit au laboratoire des spécifications pour chaque pièce du véhicule.

.../...

- Le laboratoire, qui tient à jour une revue de l'ensemble des matériaux disponibles sur le marché, élimine pour chaque pièce les matériaux dont les caractéristiques techniques ne répondent pas aux spécifications imposées par le B.E.

Au terme de cette première étape, il ne reste plus qu'un ou plusieurs matériaux candidats, chacun d'eux satisfaisant les contraintes techniques.

Une deuxième étape concerne les procédés de mise en oeuvre. En liaison avec le bureau des méthodes centrales, le laboratoire et le B.E. éliminent les matériaux dont la mise en oeuvre industrielle n'est pas satisfaisante.

La troisième étape est économique. Son but est de retenir, parmi toutes les solutions techniquement acceptables et industriellement réalisables, celle dont l'intérêt économique est le plus grand. Nous reviendrons plus loin sur les critères de ce choix économique.

Enfin, la dernière étape consiste à mettre en place les fabrications, à rédiger les cahiers des charges définitifs, définir les plans de charge des usines, homologuer les sous-traitants.

Si pour la commodité de la présentation, ces quatre étapes ont été conceptuellement distinguées, elles sont dans la réalité -au moins pour les trois premières- très largement imbriquées et se déroulent presque simultanément.

De plus toutes les voies techniquement possibles ne sont pas explorées pour chaque pièce. Bien souvent, après une analyse initiale assez rapide, seul un projet est retenu et fait véritablement l'objet d'une étude exhaustive ; sauf accident de parcours c'est à partir de ce projet qu'est élaborée la solution définitive. En terme de délais, il faut retenir que le choix définitif des matériaux est en principe acquis deux ans après le début des études, c'est à dire deux ans avant la sortie du véhicule.

2) L'allègement n'est pas un critère déterminant

Comment choisir, pour une pièce donnée, entre les différentes solutions techniquement admissibles pour sa réalisation ?

Il est clair que le prix de revient de fabrication est un critère important (1) ; il est non moins clair que ce critère n'est pas intangible. En particulier, un débat s'est ouvert depuis plusieurs années sur la question du "surcoût allègement", que l'on peut formuler ainsi : dans quelles limites peut-on accepter de payer plus cher pour disposer d'un véhicule plus économe en carburant ? La réponse à cette question s'exprime en général sous forme d'une valeur (en F/kg) donnée au "kg d'allègement".

Fabriquer un véhicule requiert environ deux fois son poids en pétrole ; le faire rouler sur 100 000 km environ 9 fois. La relation existant, à la marge, entre le poids et la consommation n'est naturellement pas immédiate à établir ; il faut tenir compte de l'allègement induit par l'allègement initialement réalisé, et se fixer des hypothèses sur le mode d'utilisation du véhicule

(la consommation d'un véhicule lancé à vitesse constante ne décroît que très faiblement avec son poids ; le poids joue en revanche un rôle important lors d'une accélération). Tous calculs faits, on peut considérer comme vraisemblable l'estimation suivante : un kg d'allègement induit une économie comprise entre 25 et 30 F (2) sur la durée de vie du véhicule.

Il s'agit là d'un chiffre considérable ; aussi n'est-il pas surprenant que depuis les chocs pétroliers, la question de l'allègement des véhicules, longtemps ignorée, soit apparemment devenue une priorité. Le gouvernement et l'administration ne sont pas étrangers à cette évolution, par l'effort de sensibilisation qu'ils ont mené. Le programme 3 litres, soutenu par les Pouvoirs Publics est l'illustration de ce volontarisme aujourd'hui affiché par les constructeurs.

(1) le principe détaillé du calcul des prix de revient chez un grand constructeur est exposé en annexe 3.

(2) au coût actuel du carburant.

Il serait toutefois prématuré d'en conclure que toute solution présentant, par rapport à la solution traditionnelle, un surcoût inférieur à 25 F par kg gagné soit acceptable par le constructeur.

Pour prendre une vue réaliste de ce problème, il faut en revenir à la logique de l'utilisateur d'un véhicule, puis du constructeur.

Du côté du consommateur, ce qui est en cause, c'est la rationalité de son choix, au moment de l'achat d'un véhicule. Si celle-ci est purement économique, le client se livrera à un calcul d'actualisation comparant d'un côté une économie de carburant sur la durée d'utilisation du véhicule, de l'autre côté un surcoût à l'achat. En fait, si cette attitude est de règle pour le poids lourd, dont l'achat constitue un véritable investissement industriel, il en va tout autrement pour le véhicule de tourisme.

Si l'on suppose, ce qui est plus réaliste que l'horizon économique du client ne s'étend guère au-delà d'un an (au maximum 2 ans), le client "rationnel" peut accepter un surcoût s'il s'amortit sur cette période, correspondant à 20 ou 25 000 kms. Ceci conduit à un surcoût compris entre 5 et 10 F par kg d'allègement. Mais même ce raisonnement à horizon réduit ne décrit pas le comportement du client moyen pour qui la voiture, au-delà de sa valeur marchande, a une fonction symbolique.

Pratiquement, on peut résumer le point de vue des constructeurs sur cette question par les observations suivantes :

- le surcoût acceptable dépend largement de la position du véhicule dans la gamme. Le raisonnement présenté plus haut est concevable pour un véhicule haut de gamme, type R 30 ; il ne l'est pas pour un véhicule bas de gamme du type R 5 ordinaire où la variable prix à l'achat est déterminante. Sur ces modèles, il est par contre envisageable d'avoir à côté du véhicule standard une

.../...

version dérivée plus économe en carburant mais d'un coût plus élevé.

- le problème essentiel pour le constructeur est de maintenir sa position concurrentielle, c'est à dire de vendre des voitures et non pas de faire à tout prix des véhicules économes. La sobriété dans la consommation de carburant est un argument de vente parmi d'autres. Le constructeur de grande série ne peut donc se permettre d'afficher systématiquement un prix supérieur à celui de ses concurrents pour chacun de ses modèles, même s'ils sont plus économes en carburant. Aussi le surcoût tolérable en pratique, pour la majorité des véhicules, est-il voisin de zéro.

Il y a cependant un mouvement général vers une réduction de la consommation des véhicules et ce mouvement s'impose à chaque constructeur. Sa stratégie est donc de maintenir sa position dans un peloton dont le trend d'évolution est tacitement accepté. Il dispose pourtant d'une petite marge de manoeuvre pour améliorer légèrement sa position et tenter d'infléchir le trend général.

### 3. Trois dérogations à la règle du prix de revient

Si le choix fondé sur la hiérarchie des prix de revient n'apparaît pas pouvoir être mis en cause pour des raisons liées à l'allègement, il peut en revanche être modifié par trois types de considérations :

#### a) la contrainte financière

Compte tenu de sa situation financière, le constructeur automobile dispose chaque année d'une enveloppe investissement qui limite éventuellement les mutations de l'outil industriel jugées économiquement rentables. Il est clair par exemple que si la réalisation de carrosserie entièrement plastique se révélait rentable dès maintenant, l'abandon de l'outil tôle, même pour les

nouveaux modèles, ne pourrait se réaliser que progressivement. La substitution des pare chocs plastique aux pare-chocs tôle illustre bien ce phénomène. Alors que la Régie considère depuis quelques années déjà que l'abandon des pare-chocs tôle est économiquement rentable et sera réalisé à terme, des modèles lancés récemment ont cependant été munis de pare-chocs tôle, pour éviter une conversion trop brutale d'activités industrielles, impliquant la mise au rebut

.../...

de matériels non encore amortis et l'achat massif de matériel nouveau.

b) le coût de l'apprentissage

Le souci de maîtriser une technique nouvelle jugée prometteuse peut amener le constructeur à accepter un surcoût par rapport aux solutions traditionnelles. Tel a été le cas, par exemple, lors de la réalisation des premiers boucliers en PFV, sur la Renault 5 ; ces pièces sont par la suite devenues plus économiques que les pare-chocs en acier. (\*)

c) l'influence du style

L'influence de la ligne sur le succès commercial d'un véhicule est un phénomène très sensible ; l'exemple le plus fréquemment cité à cet égard est celui de la Citroën Visa, dont la production quotidienne est passée de 500 à 1000 unités après que la calandre en ait été redessinée. Un effet aussi important peut naturellement, pour peu que l'on en fasse le pari, remettre en cause la hiérarchie des prix de revient. Ce type de motivation a également joué un rôle dans le choix du PFV pour le bouclier de la R5.

(\*) Le prix de revient du bouclier est resté proche de 50 F -en francs courants- de 1972 à 1982.

### III - LA GUERRE DES MATERIAUX : LE POINT DE VUE DES EXPERTS

#### 1) La veille technologique

La grille logique qui vient d'être décrite est appliquée par les constructeurs à une gamme très variée de matériaux, qui est tenue à jour par leurs laboratoires. Dresser ici la liste de ces matériaux serait fastidieux ; l'annexe 4 est consacrée à l'examen des principales catégories de matériaux en concurrence, ainsi qu'aux raisons qui font de la compétition entre acier et PFV le conflit pouvant provoquer les bouleversements les plus importants à l'horizon 1990.

Nous nous limiterons ici aux seules données relatives à l'acier et au PFV ; avant de les aborder, il importe toutefois de remarquer que les deux termes d'acier et de PFV ne désignent pas deux matériaux parfaitement définis, mais plutôt deux familles de matériaux ; en effet :

- les variétés d'acier sont très nombreuses ; à côté de l'acier extra -doux classique, s'est développée depuis plusieurs années une série d'aciers habituellement regroupés sous le vocable d'"aciers à haute limite élastique" (HLE, ou HSLA en anglais) : aciers à dispersoïdes, rephosphorés, biphasés. Parmi eux, les aciers ayant subi un traitement de recuit continu présentent les caractéristiques les plus intéressantes pour les constructeurs : à coût et propriétés mécaniques similaires à ceux des autres tôles HLE, ils possèdent une meilleure aptitude à l'emboutissage et aux traitements anti-corrosion. Les tôles HLE sont employées de façon croissante dans l'automobile : elles représentent 4% du total des tôles sur la Renault 5, 8% sur la R 14 et 12% sur la R 9.

- de la même façon, il existe une large gamme de PFV, qui diffèrent aussi bien par leur composition chimique - ou formulation - que par leurs conditions de mise en oeuvre (1) La diversité des techniques de mise en oeuvre, qui implique l'existence de matériels de transformation très différents, est une spécificité des PFV par rapport aux aciers, qui s'adaptent tous sans modification majeure aux lignes d'emboutissage existantes. Cette diversité n'est pas sans peser sur les choix stratégiques des

(1) ces deux aspects ne sont d'ailleurs pas indépendants ; ce point sera développé en 4.1.

constructeurs ; ce point sera abordé en 5.2. A l'heure actuelle, les deux principales techniques de mise en oeuvre sont :

- la compression : le PFV se présente alors sous forme d'une feuille composée de couches superposées de résine et de fibres - coupées ou continues - appelée SMC (sheet moulding compound)

- l'injection : le PFV est, dans ce cas, mis en oeuvre sous forme de mélange isotrope de résine et de fibres coupées, appelé BMC (Bulk moulding compound) ; un procédé d'injection de BMC a été récemment développé par trois filiales de SGPM (SMTP-Billion, Pont-à-Mousson-SEVA et Vetrotex) sous le label ZMC.

A côté de ces deux techniques, qui sont déjà utilisées industriellement, d'autres procédés sont envisagés : injection - transfert et compression - transfert - procédés dans lequel le transport de la matière est assuré par un piston - ainsi que, à plus long terme, une extension du procédé RIM (Reaction Injection Moulding), actuellement utilisé pour le seul polyuréthane, et dont le principe est d'effectuer simultanément la synthèse de la résine à partir des monomères de base (isocyanate et polyol dans le cas du polyuréthane) et sa mise en oeuvre.

## 2) Les points de consensus

Les experts responsables de l'évaluation des matériaux chez les constructeurs s'accordent presque unanimement sur les données suivantes :

- au plan technique, le PFV satisfait au cahier des charges relatif aux pièces de carrosserie. Si les qualités mécaniques du PFV sont compatibles sans difficulté avec le cahier des charges, il convient de remarquer que, dans deux domaines, cette compatibilité n'a été assurée que très récemment, et au prix d'importants efforts de développement :

. la résistance à la température : la température maximale des chaînes actuellement utilisées pour le traitement anti-corrosion et la peinture des carrosseries en acier est de l'ordre de 180° à 200° C. Les constructeurs considèrent comme impraticable industriellement toute solution consistant à peindre séparément les pièces en PFV, puis à les assembler au reste de la carrosserie en sortie de chaîne de peinture ; dès lors, sauf à réaliser des carrosseries entièrement en PFV, ce qui permettrait de s'affranchir de températures imposées par les traitements anti-corrosion (cataphorèse), mais qui paraît exclu, même à moyen terme, le PFV doit donc se plier aux températures existantes. Cette contrainte est l'une des raisons majeures qui interdisent actuellement l'emploi de polymères thermoplastiques de grande diffusion - dont la résistance à la température est faible - pour ces applications.

. l'aspect de surface : si la réalisation de carrosseries hybrides (acier et PFV) est admise par les constructeurs, ils ne tolèrent en revanche aucune discontinuité dans l'aspect d'une partie à l'autre de la carrosserie. Les spécifications des cahiers des charges sont, à cet égard, très sévères ; il est vrai que l'oeil humain perçoit un défaut de surface d'une taille égale à 0,8 micron. Or les pièces en PFV sont soumises au risque de trois types de défauts qui en prohibent l'utilisation :

- microporosités
- retassures (au niveau des nervures)
- ondulations.

De même que pour la résistance à la température, la mise au point de matériaux ne présentant aucun de ces défauts de surface nécessite des efforts considérables de développement. A cette fin, les recherches ont été menées dans deux directions :

- la mise au point de formules "low profile", ou "bas retrait", de PFV : au moment du chauffage dans le moule, le PFV a tendance à subir un retrait - c'est à dire une contraction - qui est propice à l'apparition de défauts de surface. Aussi les chimistes, à la suite de Rohm et Haas (USA) puis de PPG (USA), ont-ils été amenés à mettre au point des formules permettant de minimiser ce retrait. Toutes les formules utilisées pour la Citroën BX sont du type "low profile".

- l'IMC (In Mold Coating) consiste à appliquer, pendant la compression, un revêtement superficiel de résine. Ce procédé, mis au point par General Motors, ne peut toutefois éliminer que les microporosités, et n'est compatible qu'avec les techniques de compression, et pour les seules pièces planes. Il est utilisé pour la réalisation, en SMC, du capot avant de la BX.

- Au plan économique, la compétition entre acier et PFV présente deux caractéristiques notables :

a) les comparaisons de prix de revient ne sont plus systématiquement défavorables au PFV, ce qui avait longtemps été le cas. La structure de coût des pièces est, en tout état de cause, très différente dans le cas de l'acier et dans celui du PFV. En effet, le coût des matières premières utilisées est très supérieur dans le cas du PFV : le polyester et la fibre de verre coûtent de 8 à 9 F par kg ; l'acier environ 3 F. En revanche, une pièce en PFV peut couramment remplacer une dizaine de pièces en acier, et par conséquent éviter de longues - et donc coûteuses - opérations d'assemblage. Dès lors, une pièce en PFV est d'autant plus compétitive qu'elle intègre davantage de fonctions précédemment assurées par des pièces différentes en acier. A l'heure actuelle, plusieurs pièces mobiles de carrosserie, (capot avant et hayon ou couvercle arrière, notamment) sont dans ce cas, ainsi qu'en témoignent diverses études réalisées chez les constructeurs.

b) Les investissements entraînés par les solutions intégrant des PFV sont inférieurs aux investissements correspondants à l'utilisation de l'acier, pour toutes les cadences habituelles de l'automobile ; l'avantage relatif des PFV en ce domaine décroît toutefois avec les cadences.

Les études réalisées chez un grand constructeur pour une pièce mobile de carrosserie illustrent cette situation.

### 3. les points de désaccord

Les données qui viennent d'être exposées sont peu contestées par les experts des constructeurs ; elles correspondent en fait aux caractéristiques actuellement mesurées des matériaux. En revanche, l'examen des possibilités d'évolution des différentes solutions concurrentes fait apparaître des opinions très divergentes.

. Un premier débat concerne la capacité des aciers à résister à l'offensive du PFV ; les spécialistes des métaux au sein des laboratoires font valoir que les pièces réalisées en acier n'avaient pas, jusqu'à présent, été optimisées en fonction de l'allègement et que l'avantage relatif du PFV à cet égard a été surestimé (en particulier, le développement des tôles HLE constitue une riposte efficace à cette offensive). Toutefois, il est clair que l'acier est ici limité par sa densité qui est de l'ordre de 8 contre 2 environ au PFV.

. Un deuxième débat concerne les améliorations prévisibles concernant les deux principales techniques de mise en oeuvre des PFV : l'injection et la compression.

Ces deux procédés se différencient essentiellement au regard des quatre critères suivants :

- les propriétés mécaniques des pièces réalisées en SMC sont, à dimensions équivalentes, supérieures à celles des pièces injectées ; en effet :

. les fibres sont orientées dans un plan dans le cas du SMC et dans trois dimensions dans celui du BMC/ZMC.

. la difficulté de répartir les fibres de façon homogène augmente avec les dimensions des pièces dans le cas de l'injection, d'où une plus grande dispersion des caractéristiques.

. les fibres longues (d'une longueur supérieure à 25mm) ne peuvent être utilisées qu'en SMC.

. les cadences de fabrication sont plus élevées dans le cas de l'injection ; les temps de cycle courants sont en effet, pour des pièces identiques, de l'ordre de 1 mn pour l'injection et

.../...

de 2 à 3 mn pour la compression - qui en outre, par les manipulations de feuilles préimprégnés qu'elle implique, se prête malaisément à l'automatisation. Toutefois, des améliorations sont possibles sur ce plan. En particulier, la fabrication (par compression) des capots avant de la BX devrait être assurée par un atelier n'employant que 5 à 6 personnes par poste.

. les problèmes d'aspect de surface (microporosités, ondulations et retassures) sont mieux résolus pour les pièces injectées ; toutefois l'utilisation conjointe d'IMC et de formules low profile a permis - au prix, il est vrai, d'un allongement des temps de cycle entraîné par l'IMC - de lever ces difficultés dans le cas du capot avant de la BX.

. la liberté des formes est supérieure dans le cas de l'injection - d'où des gains possibles au niveau du Cx.

D'une façon générale, les responsables de la mise en oeuvre de chacune de ces techniques au sein des constructeurs s'en font naturellement les partisans ; à un niveau plus élevé, il apparaît que l'injection possède d'ardents défenseurs chez PSA, et suscite davantage de réserves à la Régie Renault. Au demeurant, il apparaît raisonnable de considérer que ces deux techniques peuvent coexister : pour les raisons exposées plus haut, l'injection devrait naturellement s'imposer dans les pièces faiblement sollicitées et aux formes complexes, et la compression dans les pièces travaillantes ou les pièces planes de grande dimension.

.../...

#### IV - LA GUERRE DES MATERIAUX : LE POINT DE VUE DES STRATEGES

##### 1) Les nécessaires collaborations

###### a - Une opération complexe :

La réalisation, à l'échelle industrielle, d'une pièce de carrosserie en PFV est une opération complexe : il s'agit en effet de produire à des cadences élevées (de l'ordre de 1000 par jour), avec des taux de rebut et de reprise suffisamment faibles, une pièce possédant des caractéristiques mécaniques stables, et qui devra, après passage dans des bains de peinture à 180°, présenter un aspect identique à celui des pièces voisines réalisées en acier.

Satisfaire ces exigences implique en particulier une définition minutieuse de la formulation du matériau.

Le terme de PFV est une abréviation simplificatrice ; il désigne en fait un matériau complexe qui se compose :

- de trois éléments de base, en proportions généralement équivalentes :

- la résine polyester, utilisée comme matrice pour les fibres ;
- la fibre de verre, dont le rôle est d'élever les propriétés mécaniques du mélange ; elle est, au cours d'une opération appelée ensimage, recouverte de produits divers, destinés à améliorer son adhérence avec la résine ;
- le carbonate de calcium, utilisé comme charge en raison de son faible coût (0,40 F/Kg) ;

- de divers additifs (5 à 10 en général) : agents démoullants, agents de mûrissement, catalyseurs de polymérisation.

Le choix et le dosage de ces additifs, ainsi que la mise au point de l'ensimage -qui constituent la formulation- jouent un rôle essentiel dans l'adaptation du matériau aux contraintes de mise en oeuvre et de caractéristiques finales de la pièce.

.../...

A titre d'exemple, le taux de fibres de verre d'une longueur inférieure à 0,5 mm - qui est un bon indicateur des caractéristiques mécaniques du matériau - variait de 20% à 64% selon la formulation lors d'essais réalisés chez Billion pour la mise au point du ZMC.

La composition chimique du compound n'est toutefois pas le seul élément sur lequel on puisse jouer : le dessin du moule et les caractéristiques de la presse (d'injection ou de compression) ont également une influence tout aussi importante sur le résultat final. Par exemple, au cours des essais évoqués plus haut, le passage d'un moule à un autre - toutes choses égales par ailleurs - a fait varier l'indicateur mesuré de 20% à 42%.

Au total, le succès de ces recherches requiert donc une adaptation simultanée de la composition du matériau et de ses conditions d'utilisation aux exigences de la fabrication automobile, suivant une double démarche que l'on désigne parfois sous le terme anglais de "materials and process engineering", et qui doit être renouvelée pour chaque type de pièce.

b - Qui détient le savoir-faire ?

En dépit de la compétence largement reconnue de leurs laboratoires spécialisés dans les matières plastiques, les constructeurs peuvent difficilement mener à bien sans aide extérieure une opération nécessitant des savoirs aussi différents que l'élaboration d'une formulation. Là réside peut être la différence la plus importante entre le PFV et l'acier - pour lequel le constructeur dispose, dans ses services, de toutes les compétences nécessaires pour réaliser directement une pièce à partir du matériau brut.

Il est clair que, de la même façon, aucun des autres partenaires (fabricants de matières ou de machines) ne maîtrise suffisamment l'ensemble du processus pour prétendre à un monopole de la formulation. Une pièce en PFV ne peut donc être réalisée que si s'est créée, au préalable, une collaboration durable entre des représentants de chacun des métiers concernés.

Ces métiers sont - pour ne s'en tenir qu'à ceux qui sont impliqués le plus directement - au nombre de sept :

- les producteurs de fibre de verre
- les producteurs de résine
- les fabricants de compound
- les fabricants de moules - ou moulistes -
- les fabricants de machines
- les transformateurs - ou mouleurs -
- les constructeurs automobiles

Une même entreprise peut naturellement exercer plusieurs de ces métiers : c'est ainsi que Renault et PSA disposent de filiales ou d'unités spécialisées dans la transformation (DPIA - usine de Dreux- et CPIO (Nantes) chez Renault ; AOP et Quillery chez PSA). PCUK, producteur de résine, est aussi transformateur, par l'intermédiaire de sa filiale Stratinator ; le groupe Mecerlec - Inoplast est à la fois mouleur et fabricant de compound ; enfin, SGPM, par l'intermédiaire de Vetrotex, PAM-SEVA et SMTP-BILLION exerce les trois activités de fabricant de fibre, de mouliste et de fabricant de machines. A l'étranger, Bayer, OCF et PPG (USA) produisent à la fois des fibres et des résines.

L'existence, au sein d'une entreprise ou d'un groupe, de services ou de sociétés pratiquant des métiers complémentaires peut apparaître à première vue comme une source précieuse de synergie.

Dans la pratique pourtant, l'avantage réel apporté par de telles associations n'apparaît pas toujours déterminant. Il est frappant de constater à quel point des entités juridiquement associées et techniquement complémentaires se comportent souvent les unes envers les autres comme des partenaires indépendants.

Tous les industriels concernés sont en effet unanimes à considérer qu'un lien trop rigide serait dangereux :

- il risquerait d'enlever à chacune des deux (ou plusieurs) entités en cause la possibilité d'avoir recours en permanence au partenaire le plus adapté techniquement.
- si l'une des deux entités est en amont de l'autre (cf producteur de résine et transformateur), elle pourrait apparaître comme un concurrent aux yeux de ses clients.

La diversité des associations réalisées en pratique - dont la confidentialité des contrats ne permet pas de faire état ici - illustre cette situation.

.../...

2) Faut-il courtiser une mante religieuse ?

Constatation préliminaire : compte tenu de la complexité de ces recherches, elle-même liée à la diversité des savoirs requis, les efforts à consentir sont importants (1).

Il est clair que chacun des partenaires impliqués dans cette collaboration ne s'engagera dans des développements aussi coûteux que si les gains qu'il en escompte sont supérieurs aux dépenses à consentir ; il faut donc, en d'autres termes, que la rente (2) engendrée par la réalisation de la pièce considérée soit répartie de façon à assurer, pour chacune des partenaires en cause, cet excédent des gains sur les dépenses. Tout dépend donc du choix que fera celui qui, outre un partenaire dans le développement, est en même temps le décideur final : le constructeur. Il est, plus précisément, confronté à deux questions :

. quel montant total donner à la rente versée à ses partenaires ?

. comment la répartir entre eux ?

Pour la première question, il ne fait pas de doute que le constructeur, confronté à une intense concurrence, agit de façon à minimiser ses coûts à court terme - et donc le montant de la rente versée à l'extérieur.

La réponse à la seconde question est gouvernée par le souci légitime qu'a le constructeur d'assurer la sécurité de sa production ; ce souci lui interdit de se lier à un fournisseur unique dont la défaillance paralyserait l'ensemble de ses chaînes. Dans le cas du développement d'une technique nouvelle, le constructeur aura donc tendance à susciter la création d'un

(1) ce que confirment, sans qu'il soit possible de les détailler ici, les dépenses engagées dans la mise au point de la BX.

(2) c'est-à-dire la différence entre les prix payés par les constructeurs et les coûts directs de production.

deuxième pôle de compétence, en son sein ou à l'extérieur, diffusant par là même la technologie de son partenaire. Les discussions très serrées qui marquent la négociation des prix fournissent à cet égard la meilleure occasion d'avoir connaissance de cette technologie.

La présence d'un second - au minimum - fournisseur ou sous-traitant étant acquise, le partenaire initial du constructeur pourrait du moins, pour sauvegarder la rentabilité de sa participation au développement, tabler sur une part garantie des approvisionnements. Mais les constructeurs, qui souhaitent à tout instant pouvoir traiter avec le meilleur, répugnent à inclure dans les contrats de développement - écrits ou verbaux - qu'ils concluent avec leurs partenaires des clauses garantissant à ces derniers une part substantielle du marché en cas de succès. Invités à engager des dépenses pour développer un produit dont ils ont toutes les chances de n'être pas l'unique fournisseur, ceux-ci courent donc le risque d'accroître le marché au bénéfice de leurs concurrents -sauf à conserver en permanence une avance technologique suffisante sur ces derniers.

.../...

Faut-il courtiser une mante religieuse ? Telle est en définitive le choix auquel sont confrontés les partenaires potentiels des constructeurs. Cette affirmation doit naturellement être nuancée ; les difficultés qui viennent d'être évoquées se présentent en effet de façon plus ou moins aiguës selon l'activité de ces partenaires, pour lesquels elles ne constituent en outre qu'un élément à prendre en compte dans l'élaboration de leur stratégie. Aussi nous faut-il maintenant les passer en revue.

### 3) L'affrontement des logiques

Pour comprendre la logique des acteurs que nous avons évoqués, il est nécessaire de présenter rapidement pour les principaux d'entre eux les règles du jeu auquel il est soumis dans son métier, c'est à dire au fond répondre dans chaque cas à la question suivante : comment l'industriel peut il tirer une rente de l'activité qu'il pratique ? ou en d'autres termes, comme doit-il faire pour être meilleur que ses concurrents.

#### \* les fabricants de fibre de verre

L'interrogation qui conditionne la stratégie dans ce métier est de savoir si la fibre de verre plastique (1) est un produit banalisé ou un produit technologique. Suivant les cas, on aboutit en effet à des conclusions diamétralement opposées.

S'il s'agit d'un bien technologique, la stratégie du producteur doit consister à acquérir une avance technique dans les produits qu'il propose et à maintenir constamment le gap technologique sur ses concurrents. Ses efforts de recherche doivent donc porter sur la mise au point de nouveaux produits et la variable coût de production n'a qu'un rôle secondaire.

Si au contraire il s'agit d'un bien banalisé, la concurrence s'effectue sur le prix de vente du produit et tous les efforts doivent porter sur l'abaissement des coûts de production ; cette situation implique donc une recherche procédés particulièrement soutenue.

(1) La fibre de verre "plastique" s'oppose à la fibre "textile" en ce qu'elle ne subit pas de traitement textile, i.e du type tordage, retorsions ... c'est la seule qui soit utilisée pour les applications "composites" qui sont étudiées ici.

La réponse à cette question est apparemment simple. Il suffit d'interroger les utilisateurs de fibre pour se convaincre qu'il s'agit bien d'un produit banalisé. Ceux-ci considèrent en effet qu'ils peuvent utiliser indifféremment telle ou telle marque de fibre (au moins pour les grands fabricants) et ne se privent en général pas d'acheter les fibres tchèques aux qualités soi-disant médiocres mais d'un prix remarquablement bas (inférieur d'environ 25 %).

Il y a évidemment quelques nuances à apporter à cette vision très schématique. Mais, il est tout à fait clair aujourd'hui qu'aucun fabricant de fibre ne dispose d'un monopole technologique sérieux sur une fibre "plastique". (1)

Certains fabricants ne se résignent pas à cette banalisation du produit et font à cette fin porter leurs efforts sur l'ensimage. L'ensimage a deux fonctions : d'une part, coller entre eux les filaments qui composent une fibre, d'autre part, assurer l'interface matrice/renforts en faisant adhérer la résine sur les fibres. Si la première de ces fonctions est incontestable, la seconde n'est pas très clairement identifiée et personne ne dispose véritablement d'une analyse scientifique permettant de comprendre ce phénomène. La mise au point de l'ensimage est donc un travail expérimental qui s'apparente aux "petits métiers de la chimie" (du type colles, adhésifs), ou les productions se font en très petite quantité, pratiquement dans le laboratoire. Mais l'ensimage, s'il est important, n'est cependant pas le point-clef pour assurer le développement des plastiques renforcés de fibre de verre. Le problème essentiel pour ouvrir de nouveaux débouchés est, plutôt la formulation du compound, c'est-à-dire le choix et le dosage des divers additifs (cf 4.1.).

Rien ne prédispose le fabricant de verre à faire de la formulation. D'une part, il n'en a pas a priori la compétence. D'autre part, s'il dépense de l'argent pour effectuer des recherches sur la formulation en vue d'ouvrir de nouveaux marchés à la fibre, il devra imputer ces dépenses sur le prix de vente de sa fibre et sera pénalisé par rapport à ses concurrents qui pourront vendre leur fibre moins cher. Le fabricant de fibre est donc placé

(1) la situation est différente pour la fibre de carbone.

devant un cruel dilemme : ou bien ne rien faire pour développer son marché, ou bien le développer au profit de ses concurrents. La situation de surcapacité qui règne depuis quelques années à rendu particulièrement aigu ce difficile arbitrage. Pour l'année 1981, les unités de production n'ont en effet tourné en moyenne qu'à 60% de leurs capacités. Cette situation résulte des investissements massifs qui ont été réalisés vers 1970 dans l'espoir de développements considérables qui ne sont pas produits (notamment dans l'automobile). Les difficultés conjoncturelles qui ont débuté il y a plus de six ans n'ont pas permis un assainissement de la profession, et le minimum de concertation nécessaire pour éviter une guerre des prix sauvage n'a jamais été obtenu. Si aucun pas vers une certaine cartellisation n'a été fait, c'est qu'il y a en Europe un grand nombre de producteurs et qu'un certain nombre d'entre eux ne fonctionnent pas suivant une logique économique : filiales de grands groupes, leurs pertes sont socialisées et le maintien de l'emploi interdit les indispensables réductions de capacité.

Face à cette situation difficile, les grands producteurs de fibre européens (c.a.d SGPM, OCF et dans une moindre mesure Silenka) ont considéré que le développement du marché était prioritaire et qu'ils étaient suffisamment puissants pour jouer sur les deux tableaux à la fois : dépenser de l'argent dans la mise au point d'applications nouvelles et avoir des coûts de production aussi bas que possible.

Ils ont donc choisi de jouer un rôle moteur dans la mise au point de nouveaux produits, au moins en ce qui concerne les thermodurcissables renforcés (les chimistes étant très peu intervenus dans le développement de ces produits, comme nous le verrons plus loin). Ainsi ont-ils collaboré avec des constructeurs automobiles ou des fabricants d'équipement pour étudier, le plus souvent à leurs frais, la réalisation de pièces en plastique renforcé. En proposant une assistance technique suffisante, ils espéraient fidéliser une partie de la clientèle et donc éviter de travailler pour les concurrents. Mais ce raisonnement n'a bien

.../...

fonctionné que pour les petits utilisateurs ; les gros clients, capables de mettre en concurrence tous les producteurs de fibres, voire même de peser sur les prix n'hésitent pas à changer de fournisseur et sont capables d'acquérir une compétence qui les rend autonomes. De plus, le métier de formulateur est différent du métier de producteur de fibre. Si les producteurs de fibre ont parfois atteint, grâce à leur expérience, un bon niveau dans la formulation, ce ne sont jamais eux qui ont mis au point des formulations vraiment nouvelles (du type système low profile de PPG par exemple, ou Rohm et Haas). Leur savoir-faire se limite à une bonne connaissance des systèmes disponibles sur le marché et à une capacité d'ajustement fin de ces systèmes aux besoins de l'utilisateur.

Pour toutes ces raisons qui sont autant d'handicaps, et également à cause d'une situation financière très difficile, les producteurs de fibre n'ont pu dépenser pour ces développements que des sommes relativement modestes du moins au regard des dépenses à consentir.

\* Les fabricants de résine

Le polyester appartient à la catégorie des "transitional plastics" dont le prix et les propriétés sont intermédiaires entre les plastiques de grande diffusion et les engineering plastics.(1)

Le polyester est un produit relativement ancien et dont la production est peu capitalistique. La taille critique pour les unités de production est faible (5000 t/an) ; les économies d'échelle ne sont sensibles que pour les frais de recherche et le réseau de vente. Les résines de base sont bien connues et les recherches actuelles ont essentiellement trait à la formulation. La situation conjoncturelle du marché du polyester a quelque analogie avec celle de la fibre de verre : elle est en effet caractérisée par une forte surcapacité (40%). Mais cette surcapacité résulte, pour le polyester, à la différence de la fibre régulière, d'une regression des marchés traditionnels (notamment la plaque) où le polyester est souvent remplacé par d'autres matières plastiques (par exemple le PVC). Aussi la production française est-elle passée en 10 ans de 72 000 tonnes à moins de 60 000 tonnes.

(1) cf annexe 8 : les grandes catégories de matières plastiques.

L'industrie européenne du polyester est éclatée entre un grand nombre (une trentaine) de producteurs souvent de taille modeste. Les fabricants français de polyester notamment sont d'une taille très inférieure à leurs grands concurrents allemands ou américains : chacun produit environ 15 000 tonnes par an, contre plus de 100 000 pour les principaux producteurs américains.

A cause notamment des surcapacités évoquées plus haut, l'activité polyester est aujourd'hui très peu rentable sinon déficitaire.

Durant ces dernières années, les sommes investies dans la recherche pour le développement des polyesters sont restées modestes. Leur développement n'a pas constitué un axe stratégique important pour les chimistes français, pour des raisons très compréhensibles.

- le polyester est en général une très faible part d'un large portefeuille d'activités chimiques (\*)
- c'est une activité peu rentable dont les marchés traditionnels sont en regression
- c'est un vieux produit ; les résines de base sont bien connues, les progrès ne peuvent résulter que de formulations nouvelles difficiles à protéger,
- les développements potentiels pour l'automobile sont hypothétiques ; de plus il y a entre nos chimistes et nos constructeurs d'automobiles une tradition de relations difficiles.

A la différence de ce qui s'est passé pour les thermoplastiques renforcés, les chimistes n'ont pas joué un rôle moteur dans le développement des thermodurcissables renforcés.

(\*) la production française de polyester en 1981 a été de 59 000 tonnes, à rapprocher d'une production totale de matières plastiques de 2 990 000 tonnes.

\* Les transformateurs

La profession de mouleurs de thermodurcissables est encore peu organisée en France. Elle est constituée de moins d'une dizaine de PMI.

Certaines sociétés, comme MAEC et MECELEC, ont un marché spécifique - l'appareillage électrique - et ne travaillent pas pour l'automobile.

Trois transformateurs ont une activité dans les pièces automobiles : Stratinator, Inoplast et Manducher. Une quatrième société, la CPIO (filiale à 100% de la Régie Renault), bien que n'ayant pas pour l'instant d'activité industrielle dans ce domaine, étudie l'injection des thermodurcissables renforcés.

Ces sociétés sont dans la situation inconfortable du sous-traitant de l'automobile.(cf 4.2).A terme, elles sont menacées par une intégration du moulage chez le constructeur, ce qui nous le verrons plus loin est très probable. Leur survie ne tiendra plus alors qu'à la nécessité pour le constructeur de maintenir un fournisseur extérieur pour amortir les variations conjoncturelles et profiter d'une main d'oeuvre moins coûteuse. La négociation des prix avec le constructeur a toutes chances de faire de cette activité un métier très peu rentable pour le transformateur.

Mais avant d'arriver à cette situation, la profession de transformateurs va connaître une période transitoire. Elle durera tant que les technologies de moulage ne se seront pas stabilisées, que l'incertitude sur leurs performances relatives ne sera pas

.../...

éclaircie et que donc les constructeurs n'auront pas massivement investi dans des outils de production.

Durant cette période, qui sera en même temps une phase d'apprentissage pour le constructeur, le transformateur peut espérer se rendre indispensable pour le constructeur et s'assurer ainsi une rente. Outre la possibilité qu'il a de tester des technologies aux performances incertaines et d'essayer les plâtres plus facilement qu'un constructeur, le transformateur peut essayer, s'il est particulièrement dynamique et s'il est épaulé par un chimiste, de conserver une certaine avance sur le constructeur en matière de formulation et de mise en oeuvre de ces matériaux. Cette tâche est d'ailleurs sans doute difficile car les constructeurs auront l'ambition de travailler chez eux, de se rendre autonomes et de traiter directement avec leurs fournisseurs de résine, de fibre et de machine. Il est clair, en tous cas, qu'un transformateur a tout intérêt à se diversifier largement hors du secteur automobile, s'il veut assurer sa survie. Les marchés du transport, notamment le véhicule industriel, le matériel agricole ou de travaux publics, devraient fournir des opportunités intéressantes pour les prochaines années.

\* Les fabricants de compound

Fabriquer le compound revient à mélanger la résine, la fibre et les additifs contenus dans une formulation donnée. Il s'agit donc d'une activité restreinte, à faible valeur ajoutée.

Aussi cette fabrication est-elle en général assurée par des entreprises exerçant une activité connexe, en amont ou en aval de la chaîne : sur les 4 principaux fabricants de compound en France, les deux premiers sont des transformateurs : Mecerlec (7000 T/an) et Renault Dreux (7000 T/an) ; le quatrième est un fabricant de résine, CDF Chimie (1800 T/an).

Seul le troisième, Menzolit France (5000 T/an) filiale de Menzolit RFA, n'a pas d'autre production industrielle ; il joue en revanche auprès de ses clients - de petits transformateurs - le rôle d'un prestataire de services, en mettant au point des formulations adaptées à leur production. Ce rôle l'a amené à acquérir une compétence en matière de formulation.

La logique des fabricants de compound, constamment menacés par une intégration chez leurs clients et condamnés à une sorte de surf technologique est au total assez proche de celle des transformateurs.

\* Les fabricants de moules et de machines

De par leur activité, les fabricants de moules et de machines sont beaucoup moins vulnérables que les autres partenaires, (dont les prestations sont plus continues) aux risques évoqués en IV.2. De plus, leur participation dans ces développements est souvent limité.

Dans la plupart des cas, en effet, le développement des pièces s'opère à partir d'une presse préexistante chez le transformateur. Ce sont également les transformateurs qui au cours des essais, décident des modifications à apporter aux moules, qu'ils ont commandé au préalable. Seule exception importante : Billion (presse d'injection) et SEVA (moules), filiales de PAM, ont étroitement collaboré avec Citroën et Vétrotex pour mettre au point le procédé ZMC d'injection de PFV.

Au total, quel qu'en soit le niveau, la participation à des développements nouveaux ne présente pas, au contraire, d'incompatibilités majeures avec les stratégies de ces deux métiers.

Les stratégies des différents acteurs étant passées en revue, il est maintenant possible d'esquisser les perspectives d'évolution qui paraissent les plus probables ; toutefois, il n'est pas inutile d'examiner au préalable la situation d'un acteur qui, s'il ne participe pas directement à ces développements, n'en est pas moins fréquemment invoqué : l'administration.

V - L'ADMINISTRATION A LA RECHERCHE D'UN ROLE

Le développement des plastiques renforcés dans l'industrie automobile se heurte, en dépit de son intérêt technique potentiel, à de sérieuses difficultés industrielles, au moins en France. Dans ces conditions, il n'est pas absurde d'imaginer qu'une action adéquate des Pouvoirs Publics puisse contribuer à lever certains obstacles. Les interventions publiques dans le domaine des matériaux composites ont fonctionné essentiellement jusqu'à présent suivant deux types de logiques : une logique Défense Nationale et une logique promotion des technologies nouvelles.

1) La logique Défense Nationale

En 1968, le Ministère de la Défense fut alerté par les industriels de l'aéronautique militaire qui lui dressèrent un constat des faiblesses de la France dans le domaine des fibres de carbone. S'agissant d'un composant essentiel (bien qu'utilisé en faible quantité) dans la fabrication de matériels de défense, la dépendance de la France sur ce produit présentait une dimension stratégique inquiétante et, en outre risquait à terme de compromettre la capacité de notre industrie aéronautique.

Ces dangers n'ont pas échappé à l'attention des fonctionnaires du Ministère de la Défense, qui, après consultation de leurs experts, ont confirmé l'intérêt des fibres de carbone. Le Ministère de la Défense a alors sollicité deux industriels français, PUK et RHONE POULENC et, en leur proposant des crédits publics, les a persuadé de construire une unité de production pour ces fibres. Serofim a donc été créé en 1971. En 1981, 10 années plus tard l'Entreprise Serofim, filiale commune de PUK et RHONE POULENC est acculée à la faillite. Les industriels français de l'aéronautique et de l'aérospatiale se fournissent pour l'essentiel de leur consommation de fibres de carbone à l'étranger, estimant que Serofim n'a pas réussi à leur proposer une fibre d'une qualité adéquate.

Des raisons techniques ont été avancées pour expliquer cet échec. Alors que la demande initiale de l'aéronautique portait sur des fibres de carbone à haut module, c'est par la suite vers les fibres à haute résistance que se sont massivement orientés les utilisateurs. Or, le procédé Rhône Poulenc-Serofim n'a pas permis

.../...

d'obtenir les hautes résistances, notamment à cause du précurseur en polyacrylonitrile homopolymère alors que tous les concurrents partent d'un copolymère.

Il semble toutefois que les industriels sollicités par les Pouvoirs Publics pour cette opération fibres de carbone n'aient jamais véritablement intégré ce développement dans leur stratégie et n'aient donc pas consenti les efforts nécessaires à sa réussite.

L'Administration, consciente de l'échec de Sérofim, a changé de stratégie à partir de 1980 et, sous l'impulsion du Ministère de l'Industrie, une nouvelle approche a été mise en oeuvre.

## 2) La promotion des technologies nouvelles

Le Ministère de l'Industrie s'est fait depuis quelques années le défenseur d'un second type de logique pour les interventions de l'Administration dans le domaine industriel : la promotion des technologies nouvelles. La fascination pour les réussites japonaises joue un rôle important dans cette démarche. La meilleure preuve en est sans doute que pour convaincre un fonctionnaire de l'intérêt d'un projet, il suffit de lui montrer un programme du MITI où ce projet figure parmi les axes prioritaires de développement.

Dans le domaine des matériaux, c'est encore une fois sur le sujet "fibres de carbone" que cette logique a été mise en oeuvre à partir de 1980. L'Administration a en effet parrainé des négociations entre industriels français et japonais en vue de la réalisation d'un joint-venture permettant à la France de rattraper son retard sur une technologie jugée fondamentale pour l'industrie de demain. Parallèlement, une action de promotion pour la fibre de carbone a été entreprise par l'Administration auprès des utilisateurs potentiels, notamment l'automobile.

Il semble pourtant que d'ici à 1990, la fibre de carbone n'ait pas de débouché important dans l'industrie automobile. De plus, en ce qui concerne plus généralement l'utilisation des composites dans l'automobile, l'Administration ne semble pas en

- désenclaver l'industrie automobile.

L'intérêt du programme 3 litres réside en fait surtout dans ses effets indirects : désenclaver l'industrie automobile et renforcer la position des hommes de la recherche au sein des groupes automobiles.

Dans un raisonnement "défense nationale", le maintien des exportations de l'automobile (ou le simple "contournement" des importations étrangères sur notre marché) compte autant que la réduction de la consommation pétrolière.

La finalité affichée du programme n'est pas non plus ce qui en fait l'intérêt. Faire pression sur les constructeurs pour leur imposer l'allègement et leur faire tenir un pari aussi gratuit que celui des 3 litres (après que celui des 2 litres initialement lancé ait été abandonné) pourrait même à la limite être dangereux. L'objectif du constructeur est en effet de vendre des voitures et non pas de réaliser des véhicules présentant telle ou telle caractéristique souhaitée par l'Administration. L'allègement n'est à prendre en compte qu'en regard du rôle joué par la réduction de consommation dans la décision d'achat du client.

Il est clair que le transfert financier en lui-même n'est pas la variable importante de ce programme. Certes, subventionner un secteur aussi vital pour l'industrie française n'est après tout pas absurde. Mais quoiqu'il puisse en coûter au Ministère de l'Industrie, les sommes mises en jeu ne sont qu'une goutte d'eau rapportées au C.A. des constructeurs.

Aucune des deux logiques présentées plus haut ne fournit de réponse à l'Administration quant à son rôle possible dans le développement des matériaux composites pour l'automobile. Néanmoins le programme 3 litres, pourtant conçu dans la perspective de ces deux logiques, illustre d'une manière indirecte ce que pourrait être une action positive de l'Administration dans ce domaine.

3) Un rôle d'entrepreneur

mesure de trancher le débat entre experts et décider sur quelle technologie il convient de miser.

Par tradition, l'industrie automobile française était un milieu assez fermé, entretenant peu de contacts avec d'autres secteurs industriels ou avec des laboratoires de recherche. L'absence presque totale de flux d'ingénieurs entre le secteur automobile et les autres secteurs jusqu'à une date récente illustre bien cet isolement.

Le bénéfice que l'on peut escompter du programme 3 litres est le suivant : sous prétexte d'allègement, donner au constructeur l'occasion de faire connaissance avec des techniques qui lui sont pour l'instant étrangères mais dont certaines peuvent se révéler performantes et lui permettront d'augmenter sa compétitivité. Les matériaux composites sont un bon exemple pour illustrer cet effet. Le constructeur automobile n'a a priori pas de compétence en chimie parce que cette discipline ne fait pas partie de son métier traditionnel ; de plus en termes de coût des matières au kg, le composite a tendance à être considéré comme hors de portée par le constructeur. Il y avait donc peu de raisons pour que celui-ci pense sérieusement "matériaux composites". Or il se peut fort bien que les composites, examinés d'abord uniquement sous l'angle allègement, permettent en réalité d'obtenir un abaissement du prix de revient des véhicules grâce à une réduction des coûts d'assemblage.

L'administration aura donc joué dans ce cas un rôle d'entremetteur efficace en mettant en contact constructeurs automobiles et spécialistes des composites, et en facilitant l'assimilation par les constructeurs d'une technologie nouvelle pour eux.

Un des instruments utilisés à cette fin consiste à demander au constructeur de dépenser à l'extérieur une partie des fonds alloués par l'Etat, donc de passer des contrats soit avec des laboratoires, soit avec d'autres industriels.

- renforcer la position des hommes de la recherche au sein des groupes automobiles

Les subventions du programme 3 litres, marginales par rapport au chiffre d'affaires des constructeurs ne le sont plus du tout par rapport à leurs budgets de recherche. Affectées directement aux directions de la recherche des groupes automobiles, ces subventions ont contribué à mettre les budgets de recherche à l'abri des aléas de la conjoncture et à renforcer la position de ces directions.

.../...

## VI - PERSPECTIVES

Avant d'en venir à la description de ce que pourrait être l'évolution des plastiques renforcés dans l'automobile à l'horizon 1990, il est utile d'indiquer brièvement quels enjeux sont liés à une éventuelle substitution de l'acier par ces matériaux.

### 1) Un enjeu considérable

Pour préciser l'ampleur des transferts envisageables, on peut retenir une hypothèse maximale consistant à imaginer que l'ensemble de la carrosserie (1) passe de l'acier au plastique renforcé.

La carrosserie (1) d'un véhicule du type R 9 pèse aujourd'hui 150 kg. En considérant très schématiquement que l'utilisation du plastique renforcé autorise une réduction de poids d'environ 50%, on aboutit par véhicule à 75 kg de plastique renforcé, soit à peu près 25 kg de fibres et 25 kg de résine (2). Compte tenu d'une production automobile de 10 millions d'unités au niveau européen, les marchés potentiels pour la fibre et la résine sont donc de 250.000 tonnes chacun.

Cet enjeu est considérable pour les fabricants de fibre de verre puisqu'il correspond à une multiplication par 2 du marché actuel de la fibre.

Pour les fabricants de polyester, l'évolution serait encore plus radicale puisqu'elle provoquerait un triplement du marché. Au niveau de l'ensemble des plastiques, l'évolution serait toutefois beaucoup plus modeste puisque le polyester ne représente aujourd'hui que 2% du marché total des plastiques.

Les sidérurgistes sont évidemment concernés au premier chef par une éventuelle substitution de l'acier. L'automobile consomme en effet 25% des tôles produites, et la carrosserie représente à elle seule un marché pour l'Europe de l'ordre de 2 millions de tonnes. L'enjeu ne se limite d'ailleurs pas pour les sidérurgistes à la simple alternative : maintien ou disparition du marché des tôles automobiles. Il s'agit tout autant pour eux d'adapter leurs produits en créant de nouvelles nuances d'acier à haute résistance

(1) hors châssis

(2) le dernier tiers étant composé de charges diverses. (cf III.1)

et de participer au développement éventuel de matériaux nouveaux, par exemple du type tôle sandwich.

Au niveau macroéconomique, le remplacement de l'acier par du plastique renforcé pour la carrosserie représente un déplacement de valeur ajoutée d'environ 10 milliards de F par an pour l'Europe.

## 2) Une évolution lente mais probable

Il paraît aujourd'hui raisonnable de considérer que les plastiques devraient occuper à terme une place importante dans la carrosserie. Deux types d'arguments semblent en effet décisifs :

- le premier est de nature technique. Dans la mesure où les constructeurs cherchent à tout prix à baisser leur prix de revient en réduisant les coûts d'assemblage, le plastique présente sur l'acier un atout décisif (1) : quelles que soient les améliorations de la tôle, notamment en matière d'allègement il n'en restera pas moins qu'une pièce plastique sera toujours en mesure de remplacer une dizaine de pièces en tôle. Certes le prix des matières plastiques est supérieur à celui de la tôle, mais les comparaisons de prix de revient montrent que dès aujourd'hui dans un certain nombre de cas la pièce plastique est moins chère. Or pour l'avenir, le potentiel d'abaissement des coûts paraît assez réduit dans le cas de la tôle alors qu'il est considérable pour le plastique dont les possibilités sont loin d'avoir été optimisées.

- le second est plus stratégique. Alors qu'il y a quelques années, l'utilisation des plastiques dans la carrosserie faisait l'objet d'une veille un peu lointaine de la part des constructeurs, on observe aujourd'hui un changement très significatif dans leur attitude. Ils investissent en hommes et en matériel dans la transformation des plastiques, mettant en place des équipes spécialisées et tâchant de diffuser la connaissance des matières plastiques dans leur bureau d'études. Le signe le plus évident de cet intérêt pour les plastiques est sans doute leur volonté de rapatrier ces développements au sein de leur groupe et la discrétion croissante qu'ils manifestent sur ces sujets.

(1) et dont on ne voit pas comment il pourrait être remis en cause.

Ces éléments doivent toutefois être nuancés par plusieurs remarques :

- d'abord, il n'est pas sûr qu'à terme l'ensemble de la carrosserie soit en plastique ; il se peut que pour certaines pièces à la géométrie simple et pour lesquelles il est difficile d'intégrer des fonctions, la tôle reste la solution la plus intéressante. De plus, la structure de la carrosserie peut évoluer, notamment entre la formule châssis et la formule monocoque ou de nouvelles variantes. Selon les cas, la pénétration du plastique peut être plus ou moins grande.

- ensuite, il est très difficile de prévoir aujourd'hui autour de quel type de matière plastique et de quel type de procédé de transformation se stabiliseront finalement les choix. En particulier, la part respective des plastiques renforcés et des plastiques non renforcés reste à terme indéterminée. Pour l'horizon 90, c'est, nous l'avons vu (1) le polyester renforcé fibre de verre qui est le candidat le plus sérieux. Mais au-delà d'autres solutions éventuellement non renforcées fibre de verre sont envisageables.

- enfin si cette substitution au moins partielle de l'acier paraît probable, elle ne s'effectuera que lentement et avec difficultés. Nous avons mentionné dans une partie précédente (2) les obstacles qui ralentissent le développement des plastiques renforcés notamment en France. Il est clair que ces obstacles ne se lèveront que progressivement et que ce n'est que sous la pression de la concurrence que les constructeurs se décideront à changer de matériau.

(1) cf III

(2) cf IV

Face à l'ampleur des enjeux décrits, les perspectives prévisibles pour les années 85 et 90 paraîtront sans doute modestes.

En effet, l'estimation du marché européen fibre de verre automobile (\*) qui, au terme de notre analyse nous a paru la plus raisonnable est la suivante :

- 12 000 tonnes de fibres en 1985 (ce qui correspond à un doublement par rapport à 1981 où le marché était de 6000 tonnes).

- 30 000 tonnes de fibres pour la fin de la décennie (1989).

Il va sans dire que cette estimation est sujette à toute les restrictions qu'imposent un exercice prospectif de ce genre, particulièrement dans une situation où, rappelons le, l'incertitude technologique reste grande. Elle indique néanmoins que les évolutions probables d'ici 1990 restent très en-deça des chiffres avancés pour décrire l'enjeu potentiel d'une substitution massive de l'acier par les composites.

## 2) L'industrie automobile de demain

La perspective d'un remplacement possible de l'acier par les plastiques renforcés conduit naturellement à s'interroger sur l'évolution à long terme du métier de constructeur automobile. Le travail de la tôle constitue en effet aujourd'hui une des activités principale des constructeurs.

### a) la fuite de la valeur ajoutée

Les constructeurs automobiles sont d'ores et déjà confrontés à une baisse de la part de la valeur ajoutée dans le chiffre d'affaires : pour la Régie Renault, par exemple, cette part est passée de 34% à 28% de 1976 à 1980.

Cette évolution est évidemment préoccupante pour le constructeur puisqu'elle signifie une diminution progressive de sa participation dans la réalisation du véhicule. Le transfert est opéré au bénéfice des grands équipementiers qui de plus en plus

(\*) hors thermoplastiques renforcés.

fournissent au constructeur un ensemble complet réalisant une fonction et incluant plusieurs composants élémentaires du véhicule.

La part d'assemblage réalisé par le constructeur est donc réduite ; de plus, l'automatisation et les robots permettent de réaliser des gains de productivité importants dans cette activité d'assemblage.

La substitution de l'acier par les plastiques renforcés accroîtra encore cette baisse de la valeur ajoutée réalisée par le constructeur. Indépendamment de toute considération sur une intégration possible dans le moulage, le passage au plastique renforcé implique en effet un gonflement important du poste matières au détriment des autres dans le prix de revient global du véhicule. Le prix d'achat de la résine et de la fibre est en effet voisin de 10 F alors que celui de la tôle est proche de 2 F.

Parallèlement, l'utilisation du plastique provoquerait une réduction importante des coûts d'assemblage en permettant de remplacer en moyenne une dizaine de pièces métalliques par une seule pièce plastique.

C'est donc à la fois l'activité tôlerie et l'activité d'assemblage qui se trouveraient, au moins pour partie remises en cause dans l'activité du constructeur.

#### b) intégration ou sous-traitance

Avec l'utilisation des plastiques renforcés, le constructeur se trouve confronté à un choix industriel : doit-il intégrer ou sous-traiter cette activité ?

Plusieurs arguments plaident en faveur de l'intégration.

- pour atténuer la diminution de la valeur ajoutée évoquée plus haut, le constructeur a intérêt à mouler ses pièces et à fabriquer son compound. Cet argument pèse d'autant plus que le constructeur est soumis à une forte contrainte d'emploi, qui lui interdit de

.../...

réduire sensiblement ses effectifs, ce qui est le cas à la Régie Renault, au moins aujourd'hui.

- être absent des activités de moulage signifie pour le constructeur être dépendant de ses fournisseurs, non seulement sur le plan financier mais également sur le plan technologique, pour tout ce qui concerne la mise en oeuvre des plastiques renforcés.

C'est le type de situation qui prévaut très largement aujourd'hui dans le le vitrage puisque seul Ford s'est intégré dans cette activité. Mais ce qui est tolérable pour un composant assez marginal, ou du moins très circonscrit du véhicule, le serait sans doute beaucoup moins pour la carrosserie et les pièces de structure qui sont des éléments fondamentaux dans la conception du véhicule.

- les coûts de transports et d'emballage pour les pièces de carrosserie sont très élevés, puisqu'ils peuvent atteindre plus de 15% du prix de revient total de la pièce. Le constructeur a donc intérêt dans la mesure du possible à mouler les pièces de carrosserie dans l'usine où se trouve la chaîne de montage.

Il est clair cependant que l'intégration dans l'activité de moulage ne saurait être complète. Pour des raisons tout à fait classiques, le constructeur souhaite une pluralité de fournisseurs et entend notamment mettre en concurrence son fournisseur intégré avec un fournisseur extérieur, ne serait-ce que pour lui servir d'aiguillon tant sur le plan des prix de revient que des progrès techniques.

D'autres facteurs viennent d'ailleurs renforcer l'idée selon laquelle le constructeur devrait limiter son intégration dans l'activité de moulage.

- les salaires dans la transformation des plastiques étant plus bas que dans l'automobile, le recours à la sous-traitance permet au constructeur d'abaisser ses coûts de fabrication, toutes choses égales par ailleurs.

- l'incertitude technologique qui règne aujourd'hui dans les plastiques renforcés rend très risqué tout investissement massif dans une technique particulière. Celle-ci peut en effet devenir caduque avant que l'investissement n'ait été rentabilisé. Pour le sous-traitant, le même risque existe, mais il est moins grave car

.../...

une PMI a, par nature plus de souplesse et peut par exemple en utilisant le matériel initialement destiné aux pièces pour l'automobile fournir d'autres utilisateurs.

Au total, s'il est probable qu'à terme l'intégration des constructeurs dans l'activité de moulage soit relativement massive, le recours à des sous-traitants pendant une période intermédiaire devrait être assez important.

## C O N C L U S I O N

Le développement des plastiques renforcés dans l'automobile sera lent ; il pourrait de plus n'être qu'éphémère. En effet, le desserrement de contraintes actuellement prohibitives, notamment la température de cuisson des peintures, pourrait favoriser l'émergence d'autres matériaux - thermoplastiques non renforcés, en particulier.

Au-delà de ces perspectives de marché, cette étude appelle quelques remarques d'une portée plus générale.

La première concerne les difficultés que rencontrent en France les industriels pour collaborer à un projet commun. Ces difficultés sont d'autant plus regrettables qu'elles constituent un frein à la diffusion des technologies nouvelles au sein de l'"entreprise France" - alors qu'elles ne sont pas fatales, comme en témoigne l'exemple des Etats-Unis. (\*)

La seconde a trait à la situation de la France dans le développement des plastiques renforcés. A l'image de ce qui se passe dans le domaine des composites haut de gamme, où un secteur utilisateur dynamique a jusqu'à présent fait appel essentiellement à des producteurs étrangers, les constructeurs automobiles français font souvent figure de pionnier en utilisant des formulations mises au point par des fournisseurs étrangers. De même que des initiatives récentes ont visé à combler les lacunes de la France dans la production des composites haut de gamme, la création déjà esquissée d'un pôle de compétence en matière de plastiques renforcés devrait être encouragée.

(\*) cf à cet égard, le rapport de la mission effectuée sur le même thème aux Etats-Unis.

ANNEXE 1

REPARTITION DU POIDS D'UN VEHICULE

La répartition du poids d'un véhicule de grande diffusion (RENAULT 5) entre les principaux matériaux est actuellement la suivante :

| MATERIAU                 | POIDS | %    |
|--------------------------|-------|------|
| Tôle acier mince         | 337   | 45   |
| Fonte et acier massif    | 217   | 29   |
| Elastomères              | 45    | 6    |
| Plastiques non renforcés | 30    | 4    |
| Verre                    | 27    | 3,6  |
| Aluminium                | 22,5  | 3    |
| Peinture, mastics        | 21,5  | 2,9  |
| Papier, carton           | 19    | 2,5  |
| Plastiques renforcés     | 15    | 2    |
| Métaux nobles            | 15    | 2    |
|                          | ----  | ---- |
| TOTAL                    | 750   | 100  |

ANNEXE 2

EVOLUTION DU POIDS DE MATIERES PLASTIQUES  
DANS LES VEHICULES RENAULT

| MODELE | ANNEE<br>SORTIE | POIDS<br>(Kg)<br>(a) | POIDS DES<br>MATIERES<br>PLASTIQUES<br>(Kg)<br>(b) | b/a<br>% |
|--------|-----------------|----------------------|--|----------|
| R 6    | 1968            | 780                  | 21,8   | 2,8      |
| R 12   | 1969            | 900                  | 32,9   | 3,7      |
| R 5    | 1972            | 730                  | 33,5   | 4,6      |
| R 30   | 1975            | 1320                 | 66   | 5,0      |
| R 14   | 1976            | 865                  | 53   | 6,1      |
| R 18   | 1978            | 920                  | 63,5   | 6,9      |

Le taux du centre de frais est obtenu en divisant son budget annuel par le nombre d'unités d'oeuvres effectuées au cours d'une année. Le budget du centre de frais comprend :

- des frais variables,  
notamment : main d'oeuvre, fournitures, entretien des machines ...
- des frais fixes,  
notamment : la main d'oeuvre indirecte, investissements capacitaires (comptés en amortissements linéaires) ...
- des frais généraux ventilés suivant une clef de répartition.

Il faut noter que l'amortissement spécifique, c'est à dire correspondant aux outillages n'est pas inclus à ce stade.

Pour calculer le terme 2 du prix de revient d'une pièce, la procédure est la suivante : le bureau des méthodes, à partir d'une analyse technique, donne la gamme c'est à dire le nombre d'unités d'oeuvres nécessaires dans chaque centre de frais pour la réalisation de la pièce ( $q_i$  pour le centre  $i$  ; il est clair que la plupart des  $q_i$  sont nuls) ; on valorise cette gamme par les taux et le terme 2 est égal à  $t_i \times q_i$  où  $t_i$  désigne le taux du centre  $i$ .

### ANNEXE 3

#### LE CALCUL DES PRIX DE REVIENT CHEZ UN GRAND CONSTRUCTEUR

Lors de la mise en étude d'un nouveau modèle, on calcule à partir du prix de vente envisagé un prix de revient global, qui tient compte de la marge que le constructeur souhaite prendre sur le modèle. Ce prix de vente global est découpé, suivant une clef de répartition, entre les divers services du bureau d'études (environ 30) chargé chacun de l'étude d'une fonction. Chaque service, qui fonctionne comme une unité au moins en partie autonome se voit donc affecter au début de l'étude un budget prix et un budget poids, avec charge pour lui de respecter les deux contraintes. Ces choix de matériau se font en principe pièce à pièce donc indépendamment. Des arbitrages intervenant en cours d'études peuvent modifier la répartition initiale des enveloppes prix et poids entre les divers services.

Pour choisir la solution la plus économique, le bureau d'études fait établir le prix de revient de chacune des solutions candidates. Le calcul du prix de revient d'une pièce, en vue de comparaisons, s'effectue de la manière suivante :

Il est la somme de quatre termes :

- 1 - Le coût des matières
- 2 - La valorisation des unités d'oeuvre nécessaires à la réalisation de la pièce.
- 3 - Le coût de l'outillage spécifique (en amortissements linéaires)
- 4 - Les coûts d'emballage et de transport

Il est nécessaire pour expliciter le deuxième terme de donner quelques éléments sur le système de comptabilité analytique.

Le système utilisé est celui des sections homogènes. Les usines sont découpées successivement en départements et centres de frais. Le centre de frais est l'unité comptable de base. Son activité correspond en principe à la réalisation d'une tâche clairement identifiée. Sous le nom d'unité d'oeuvre est désignée une variable caractéristique de l'activité du centre de frais. Il s'agit le plus souvent de l'heure de travail, mais ce peut être aussi le m<sup>2</sup> (dans le cas d'un atelier de peinture), ou une autre unité.

## ANNEXE 4

### LES MATERIAUX ET LEURS PERSPECTIVES D'UTILISATION

#### I. LES MATERIAUX EN PRESENCE

Les principaux matériaux envisagés pour la réalisation, à l'horizon 1990 de pièces automobiles appartiennent à trois catégories (1)

- les matériaux métalliques
- les matériaux plastiques et composites
- les matériaux mixtes.

#### 1.1 LES MATERIAUX METALLIQUES

##### 1.1.1. L'ACIER

Ce terme recouvre en fait une grande variété de produits ; à côté de l'acier extra-doux classique s'est développée depuis plusieurs années une série d'aciers habituellement regroupés sous le vocable "d'acier à haute limite élastique" (HLE, ou HSLA en anglais) : aciers à dispersoïdes, rephosphorés, biphasés. Parmi eux, les aciers ayant subi un traitement de recuit continu présentent les caractéristiques les plus intéressantes pour les constructeurs : à coût et propriétés mécaniques similaires, ils possèdent une meilleure aptitude à l'emboutissage et aux traitements anti-corrosion. Les tôles HLE sont employées de façon croissante dans l'automobile : elles représentent 4% du total des tôles sur la Renault 5, 8% sur la R 14 et 12% sur la R9.

##### 1.1.2. L'ALUMINIUM

Le principal intérêt de l'emploi de l'aluminium dans les applications automobiles est sa légèreté : 1 kg d'aluminium remplace environ 2,5 kg d'acier. Il présente en revanche plusieurs inconvénients : prix et contenu énergétique élevés, soudabilité médiocre.

(1) les verres plats et les élastomères, en raison de la spécificité de leurs applications, ne seront pas évoqués, non plus que les céramiques, dont les perspectives d'application sont trop lointaines.

## 1.2. LES MATERIAUX PLASTIQUES ET COMPOSITES

### 1.2.1 LES PLASTIQUES NON RENFORCES

Il s'agit actuellement, pour l'essentiel, de thermoplastiques transformés par injection, présentant de faibles caractéristiques mécaniques, et utilisés pour la réalisation de pièces d'équipement intérieur et de garnissage - On trouve également des "engineering plastics" (polyamide, par exemple), qui permettent de réaliser de petites pièces sous capot, ainsi que du polyuréthane non renforcé. En outre, des thermoplastiques "haut de gamme" (polycarbonate, PET) font l'objet de nombreuses études, en vue d'une utilisation éventuelle pour des pièces de carrosserie.

### 1.2.2. LES PLASTIQUES RENFORCES

Associant une matrice et une fibre de verre E - compte tenu des coûts jugés prohibitifs des autres fibres - les plastiques renforcés appartiennent à la catégorie des matériaux composites. Les principales variétés sont :

#### a - les thermodurcissables renforcés :

Il s'agit toujours, en principe, de polyester renforcé de fibre de verre (PFV) ; parmi les autres résines thermodurcissables, les epoxys sont jugées trop coûteuses et les phénoliques trop fragiles. Les deux principaux moyens de transformation des PFV sont :

- l'injection (BMC/ZMC)
- et la compression (SMC)

b - le polyuréthane renforcé, transformé en RRIM : ce procédé consiste à introduire brutalement dans un moule fermé un mélange des constituants du polyuréthane (isocyanate et polyol), dans lesquels la fibre a été introduite au préalable.

#### c - les thermoplastiques renforcés se présentent sous forme :

- de granulés injectés, dont les applications sont comparables à celles des thermoplastiques non renforcés.

- de plaques estampables, à haut taux de fibre (40%) ; ce procédé, développé par PPG aux USA, ne connaît pas encore d'application industrielle.

## 1.3. LES MATERIAUX MIXTES

Développés en particulier par Hercules, Monsanto, National Steel et Solvay, ces matériaux ne sont pas utilisés actuellement dans l'automobile ; les recherches en ce domaine portent surtout sur les "tôles sandwich" qui associent deux feuilles métalliques et un thermoplastique.

## 2. PERSPECTIVES D'UTILISATION A L'HORIZON 1990

Les quelques 15 000 pièces qui composent un véhicule se répartissent schématiquement en trois sous-ensembles :

- la structure (châssis et carrosserie)
- les pièces mécaniques et organes (moteur, roues, freins, suspension)
- l'équipement et le garnissage (sièges, tableau de bord, rétroviseurs...)

La compétition qui oppose les matériaux énumérés dans le précédent paragraphe se présente en des termes différents selon le sous-ensemble considéré.

### 2.1. L'EQUIPEMENT ET LE GARNISSAGE

Cette famille de pièces, déjà largement dominée par les matières plastiques, -des thermoplastiques non renforcés dans la plupart des cas- ne devrait pas connaître de bouleversement majeur.

La principale substitution envisageable concerne l'utilisation du polyester-fibre de verre pour la confection de coquilles de sièges, au détriment de l'acier. Les Renault 9 sont déjà équipées de coquilles en SMC.

### 2.2. LES PIECES MECANIQUES ET ORGANES

Le choix des matériaux est, dans cette famille de pièces dont la parfaite fiabilité est, pour la plupart, indispensable à la sécurité du véhicule, gouverné par le souci de prudence des bureaux d'étude. Cette prudence constitue un frein incontestable à l'utilisation de matériaux nouveaux encore mal connus.

Compte tenu de cette situation, les perspectives d'utilisation de matériaux dans ce domaine apparaissent caractérisées par :

- Une pénétration limitée et encore hypothétique des matériaux composites :

Les bureaux d'étude ne disposent pas à l'heure actuelle de programmes de calcul applicables à ces matériaux anisotropes que sont les composites et d'une fiabilité comparable à celle des programmes conçus pour les matériaux isotropes.

Par ailleurs, on observe une grande dispersion des propriétés mécaniques des pièces d'essai actuellement réalisées en composite ; enfin, on ne connaît pas de procédé analogue à ceux utilisés pour les matériaux métalliques (contrôles par ultrasons) et permettant de contrôler sans les détruire des pièces réalisées en composite.

La conjonction de ces trois éléments interdit actuellement toute utilisation industrielle des composites pour ce type de pièces si toutefois ces difficultés étaient levées, les pièces susceptibles d'être réalisées en composite à la fin de la décennie sont vraisemblablement :

- les arbres de transmission
- les ressorts - en particulier pour les véhicules industriels, pour lesquels l'allègement obtenu sur les ressorts par le recours aux composites serait de l'ordre de 600 kg
- et dans une moindre mesure, les roues ; cette application nécessiterait une modification simultanée des pneumatiques qui sont conçus en fonction d'un support métallique.

Les matériaux envisageables pour ces applications sont des composites hybrides (verre-carbone) - au moins pour les deux premières - et à haut taux de fibres (70%).

Corrélativement, un maintien de la prépondérance des matériaux métalliques, au sein desquels l'aluminium peut voir sa part relativement augmenter. La moitié des blocs moteurs produits en France sont déjà réalisés en aluminium ; le gain de poids correspondant est de l'ordre de 15 à 20 kgs.

### 2.3 La structure

Il s'agit de la famille de pièces dans laquelle la compétition entre matériaux est la plus indécise.

#### 2.3.1. Les pare-chocs

- ou boucliers - occupent, dans cette famille, une position particulière en effet, la pénétration des plastiques renforcés y est déjà ancienne (1972 : bouclier de la Renault 5) et très développée à l'heure actuelle. Cette rapide pénétration s'explique par :

- l'aptitude des plastiques renforcés à subir sans déformation des chocs à petite vitesse ;
- leur contribution au style du véhicule, par la liberté des formes qu'ils permettent ;
- l'absence de contraintes relatives à l'aspect de surface ;
- la compétitivité de leur coût par rapport à celui des pare-chocs en acier, grâce à l'intégration de fonctions qu'ils réalisent.

Divers matériaux plastiques, renforcés ou non, sont utilisés concurremment dans ce domaine : SMC (R5) polyuréthane (Peugeot 505), polypropylène associé à une mousse de polyuréthane (Citroën GSA), RRIM (Fuego USA).

### 2.3.2. Les autres pièces

Pour les autres pièces, la compétition oppose essentiellement - pour l'horizon 1990 - l'acier et le polyester - fibre de verre, utilisé en injection ou en compression. En effet, parmi les autres matériaux les plus fréquemment cités :

- l'aluminium présente des inconvénients techniques (faible aptitude à la soudure et au martelage) et économiques (prix, contenu énergétique) qui l'éliminent virtuellement.

- le polyuréthane transformé en RIM (ou RRIM) représente une solution technologiquement admissible, mais trop onéreuse, en raison :

- du coût de la matière première
- de la longueur des temps de cycle
- de la nécessité, pour les pièces d'aspect, de les peindre à part avant l'assemblage.

La technique du RIM, qui permet une fabrication directe de la pièce à partir des monomères, peut en revanche - appliquée à d'autres produits - connaître des développements importants. Toutefois, les recherches entamées dans cette direction apparaissent trop récentes pour qu'une application industrielle puisse être envisagée pour la fin de la décennie.

- Les thermoplastiques haut de gamme (polycarbonates, PET) ne supportent actuellement pas les températures supérieures à 160°, ce qui interdit leur passage sur les chaînes de peinture.

- Les plaques de thermoplastiques estampables sont actuellement éliminées par leur état de surface,

- Les matériaux sandwich ont une aptitude insuffisante à l'emboutissage et à la soudure.

En revanche, le polyester - fibre de verre (PFV) connaît actuellement d'importants développements, allant jusqu'au stade industriel :

- avec l'utilisation du ZMC pour la fabrication du hayon arrière de la Citroën XB, dont le lancement est prévu pour l'automne 1982 ; le capot avant et les custodes du même véhicule seront réalisés en SMC ;

- avec la réalisation à la Régie Renault d'une présérie de 2000 exemplaires d'un capot de R 18 en SMC.

ANNEXE 5

Données chiffrées sur l'utilisation des plastiques renforcés dans l'industrie automobile européenne.

- production automobile européenne : environ 10 millions de véhicules/an (dont environ 3 millions produits par la France), soit une production de 50 000 véhicules/jour, en raisonnant sur 200 Jours.

- quantité de fibre de verre utilisée par l'industrie automobile européenne en 1981

- . dans les thermoplastiques : 12 000 tonnes /an
- . dans les thermodurs : 6 000 tonnes /an

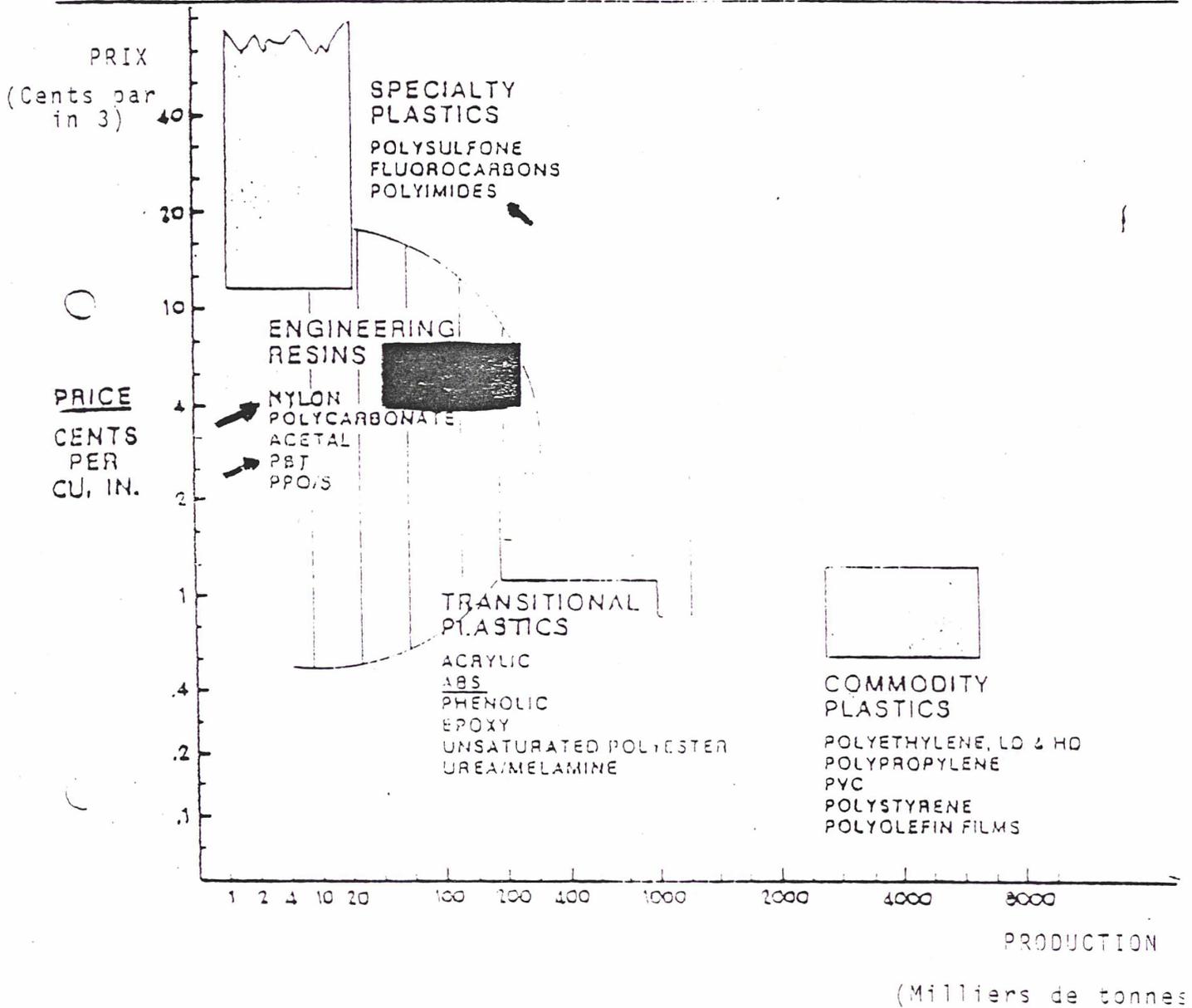
- Utilisation des thermodurs renforcés par l'industrie automobile européenne en 1981

- . total 18 000 tonnes de compound/an  
dont 6 000 tonnes de fibre
- . part de la Régie Renault (y compris la sous traitance) :  
3 800 tonnes de fibre/an  
57 tonnes de préimprégné par jour utilisés pour

| pièce                 | véhicule | (en 1981) cadence<br>par jour | Poids de la pièce<br>en kg |
|-----------------------|----------|-------------------------------|----------------------------|
| pare-choc<br>AV + AR  | R 5      | 2250                          | 8,10                       |
| pare-choc<br>AV + AR  | R 14     | 650                           | 8,60                       |
| pare-choc<br>AV + AR  | R 18     | 1700                          | 6,10                       |
| coquilles<br>de siège | R9       |                               |                            |

- Caractéristiques de l'opération BX de Citroën  
pièces : hayon + capot AV + custodes  
poids de fibre utilisé par véhicule : 5 kg  
cadence - objectif : 1000 véhicules par jour  
consommation annuelle de fibre pour la BX : 1000 tonnes.

LES GRANDES CATEGORIES DE MATIERES PLASTIQUES



Consommation de plastiques par l'industrie automobile européenne en 1980

| <u>MATERIAL</u>                    | <u>WEIGHT(*) IN TONNES</u> |
|------------------------------------|----------------------------|
| PVC                                | 146.580                    |
| PV                                 | 118.735                    |
| ABS                                | 65.485                     |
| PP                                 | 87.450                     |
| Polyester (Thermoset)<br>Compounds | 18.640                     |
| Nylon                              | 27.405                     |
| Acrylic                            | 12.450                     |
| Actal                              | 10.250                     |
| Phenolic compounds                 | 70.350                     |
| Polycarbonate                      | 11.750                     |
| Cellulosics                        | 3.835                      |
| MODified PPO                       | 11.000                     |
| Polyethylenes                      | 22.100                     |
| Others (mainly, PBT)               | 1.850                      |
| Total Tonnage                      | 607.880                    |
| Number of Cars (millions)          | 10.6                       |
| Average/car kg                     | 57.3                       |

(\*) Weight includes resin, fibres and fillers.

ANNEXE 7

PERSONNES RENCONTREES

1 - CONSTRUCTEURS

1 - RENAULT

- a - DAST : M. LAGASSE  
M. VAYSSE  
M. KOSLOWSKI  
Mme MORIN
- b - DRDA : M. LAGRANGE  
M. WYSS  
M. GOUPY  
M. EL HAİK  
M. LAFONT  
M. GEORGES
- c - DPIA : M. MAULNY  
M. HOUDEAU  
M. GOUNOD  
M. CAT
- d - Direction financière :  
M. BERTIN
- e - CPIO : M. ST JULIEN  
M. SARRAZIN

2 - PSA

|               |                 |
|---------------|-----------------|
| a - DRAS :    | M. SIFRE        |
| b - DATPL :   | M. LANFRANCHINI |
| c - CITROEN : | M. LAROUSSE     |

2 - FABRICANTS DE MATIERES :

1 - RESINES

|                               |   |
|-------------------------------|---|
| a - PCUK :                    | M. DESLANDES  |
| b - CDF-CHIMIE :              | M. CHAGNON<br>M. MONTAUBRIC   |
| c - CHLOE :                   | M. DUCROS<br>M. GUICHOT<br>M. FAGNONNI  |
| d - ATO :                     | M. PUECHAL<br>M. MINOUX   |
| e - RHONE-POULENC :           | M. FOLZ<br>M. NEVOT<br>M. CARREGA<br>M. VERMONNET<br>M. VIANNEY<br>M. DUBOIS<br>M. PETITDEMANGE<br>M. JACTA |
| b - GENERAL ELECTRIC-FRANCE : | M. SILVESTRE  |

2 - FIBRES

|                  |  |
|------------------|--|
| a - VETROTEX :   | M. RIEUNIER<br>M. DELLEVILLE<br>M. BUISSON<br>M. LINASSI<br>M. LECRON<br>M. MENARD |
| b - OCF-FRANCE : | M. DUCHARNE<br>M. LECLOUX  |
| c - PUK :        | M. SOULAT  |

3 - INTERMEDIAIRES :

|                 |  |
|-----------------|--|
| a - MENZOLIT :  | M. BURGER<br>M. CHIAPUZZI              |
| b - STRATINOR : | M. BURCKARD<br>M. LABONNE<br>M. POTIER |
| c - INOPLAST :  | M. DIAZ<br>M. CHAPUY                   |
| d - MECELEC :   | M. SEGUIN                              |
| e - MANDUCHER : | M. MANDUCHER                           |

4 - MACHINES et MOULES :

|                           |                         |
|---------------------------|-------------------------|
| a - SMTP - BILLION        | M. LAURENT<br>M. MONNET |
| b - SEVA (Pont-à-Mousson) | M. RICHARD              |

5 - ADMINISTRATION :

. M.R.T. : M. PAGEZY  
M. BATHIAS  
M. GOBIN

. Ministère de l'Industrie :

DICTD : M. BEDIER  
M. SANTO

DIMME : M. HUE DE LA COLOMBE

. AEE : M. ANTONIOLI

. Ministère de la Défense :

DRET : M. BESSONNAT

6 - DIVERS :

|                |  |
|----------------|--|
| a - IRSID :    | M. CONSTANT  |
| b - SNIAS :    | M. MANGEOT   |
| c - SEP :      | M. MERMILLOD<br>M. BONNET                          |
| d - CHAUSSON : | M. DE BUYER  |
| e - BERTIN :   | M. MORDCHELLES-REGNIER<br>M. COLLARD<br>M. GALLAND |
| f - ENSMP :    | M. LEVY<br>M. POMEY<br>M. BUNSELL<br>M. BROUSSAUD  |