

Chimie et matériaux de l'automobile

Gérard Maeder* directeur de l'ingénierie des matériaux, Renault

Summary : *Chemistry and materials for automotive industry*

Chemistry and materials are inextricably linked within all industries. The automotive industry, however, represents such an important market for materials that it receives a great deal of attention from producers of metals or polymers materials. New materials or materials that are new to the automobile are regularly proposed to development engineers, and yet a noticeable change in the mass-produced vehicle is very slow in coming. To explain this situation, the selection criteria specific to this industry need to be broken down in turn, for example statutory constraints and customer expectations which affect the actual product and have a direct influence on the choice of materials. It shall, thus, be seen that today's most commonly encountered scenario of continuous progress is replaced by a step-change pattern which actually allows new applications for the automobile, thereby leaving ample scope for advances made in the chemical industry.

Mots clés : *Automobile, matériaux, choix, évolution.*

Key-words : *Cars, materials, choice, evolution.*

La filière des matériaux et le constructeur

A l'origine des matériaux, il y a la chimie. Ce sont les liaisons chimiques qui, conduisant aux microstructures des alliages métalliques ou aux morphologies des polymères, expliquent les propriétés des matériaux, leur aptitude à la transformation, leur comportement en service, leur recyclabilité. La chimie est donc présente tout au long de la filière d'un matériau représentée par les phases « élaboration » (du minerai au matériau), « transformation » (du matériau à la pièce), « utilisation » (de la pièce à son comportement en service), « fin de vie » (recyclage ou récupération énergétique).

Lorsque l'on s'intéresse à la filière industrielle matériaux-automobile, celle-ci est constituée de cinq étapes. Parmi ces cinq étapes, le métier de constructeur, aujourd'hui, consiste essentiellement à **spécifier** des matériaux, à **concevoir** et **assembler** des véhicules. L'**élaboration** des matériaux concerne des industries spécifiques, en général de grands groupes industriels (sidérurgie, aluminium, chimie). La

transformation ou mise en forme (emboutissage, fonderie, forge, plastiques...) correspond à des activités historiquement intégrées chez le constructeur. Le **recyclage** est pris en charge par les industries de la récupération et les industriels de l'élaboration.

Mais si le constructeur n'est concerné aujourd'hui que par les phases « transformation » et « utilisation », il ne lui est pas possible d'ignorer les conséquences des phases « élaboration » et « fin de vie » pour spécifier, concevoir et assembler des véhicules. Le constructeur est donc dépendant des autres acteurs de la filière.

L'hyperchoix des matériaux

Le marché de l'automobile est un marché important pour les matériaux, avec 50 à 60 millions de véhicules fabriqués par an dans le monde. En considérant un poids moyen unitaire de mille kilogrammes, on comprend bien l'intérêt des producteurs de matériaux pour cette industrie. C'est ainsi que les chimistes créent des matériaux nouveaux dont les performances font les beaux jours des publications scientifiques et techniques. Ils font rêver le public et interpellent l'ingénieur avec une pression marketing que ne désavouerait pas la grande distribution. Chacun prône suivant son domaine le

développement d'une voiture tout plastique, tout acier ou tout aluminium. La conséquence est que l'ingénieur a à sa disposition un nombre considérable de familles de matériaux, elles-mêmes constituées de nombreuses nuances : c'est l'hyperchoix des matériaux.

Cependant, si l'on considère le pourcentage relatif des matériaux utilisés aujourd'hui, celui des matériaux métalliques ferreux représente un peu plus de 65 % en poids. La répartition observée sur la *figure 1* pour un véhicule de grande série est le résultat d'une lente évolution qui a vu ce pourcentage décroître légèrement au profit de l'aluminium et des matières plastiques (*figure 2*).

Est-ce à dire que l'industrie automobile est une industrie conservatrice vis-à-vis des nouveaux matériaux ? Il faut rapidement modérer ce jugement parce que les matériaux métalliques utilisés aujourd'hui n'ont, au niveau de leurs propriétés spécifiques, rien de commun avec ceux utilisés il y a seulement dix ans. Les tôles sont maintenant toutes préprotégées par du zinc ou des alliages de zinc, l'augmentation des nuances « haute limite d'élasticité » est continue. Les aciers et les fontes plus classiques voient leurs propriétés améliorées, les fourchettes de caractéristiques resserrées, les traitements thermiques ou mécaniques locaux sont mieux adaptés et contrôlés... Les matériaux

* Renault, service 64100, 1, avenue du Golf, TCR Lab. 136, 78288 Guyancourt Cedex. Tél. : 01.34.95.03.42. Fax : 01.34.95.03.35. E-mail : gerard.maeder@renault.com

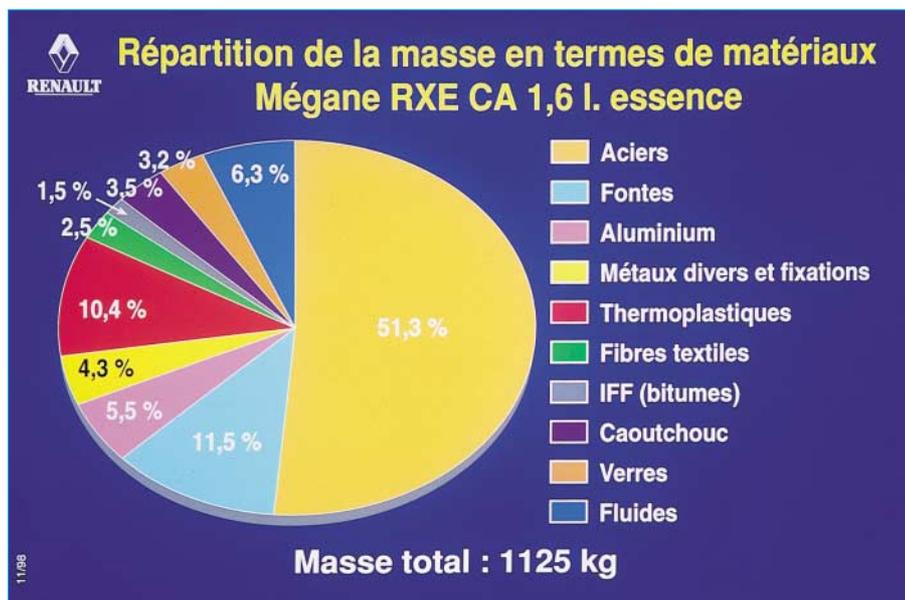


Figure 1 - Répartition de la masse en termes de matériaux de la Mégane RXE 1,6 L essence.

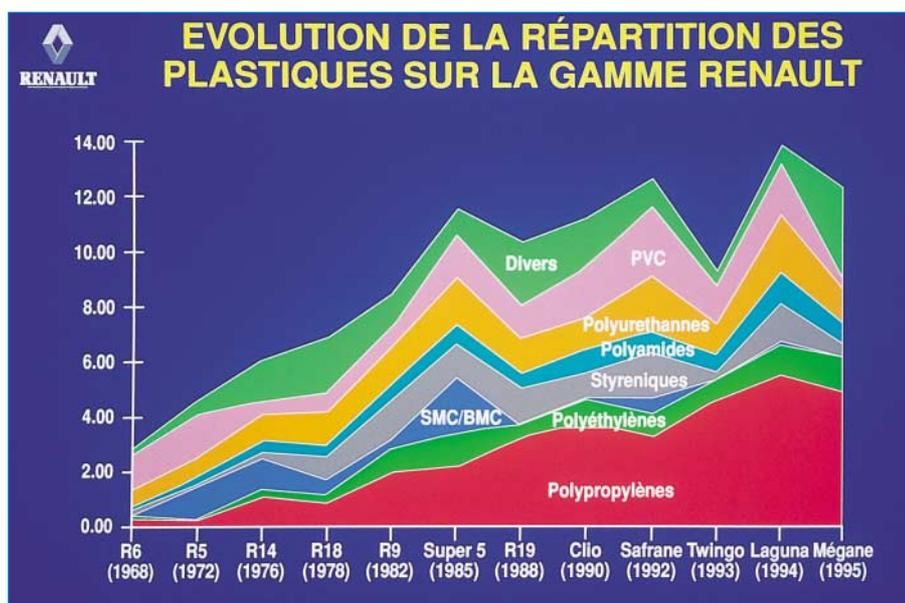


Figure 2 - Évolution des matières plastiques (% masse) dans la gamme Renault.

d'aujourd'hui sont des matériaux nouveaux, comparés aux matériaux métalliques d'autrefois.

Les critères de choix spécifiques à l'automobile

Pour une même fonction, les constructeurs utilisent des matériaux qui peuvent être très différents : tôle ou plastique pour un réservoir ou pour une aile, aluminium ou fonte ou acier pour un bras de suspension par exemple. Malgré les espoirs placés en eux, les matériaux céramiques sont inexistantes, les polymères et composites ne représentent

aujourd'hui que 10 à 15 % du poids des véhicules. D'autres matériaux nouveaux, comme les composites à matrices métalliques, les multimatériaux, les alliages de titane qui font l'objet de recherches intenses ont des applications prometteuses mais encore marginales. Pour expliquer cette situation, il faut bien comprendre les critères de choix spécifiques à l'industrie automobile.

Tout d'abord, le matériau n'intéresse le concepteur que dans le sens où il est constitutif d'une pièce qui doit assurer une fonction répondant à un cahier des charges. Le matériau n'est alors qu'une des composantes d'un vaste système dont de nombreux éléments interagis-

sent entre eux : procédés de mise en œuvre, technologies déjà en place et maîtrisées, outils de conception (CAO), possibilités de modélisation et de simulation...

Ensuite, lorsque l'ingénieur se préoccupe du choix des matériaux, il doit tenir compte, quelle que soit l'industrie, de critères techniques qui évoluent mais qui sont en général bien maîtrisés, et de critères socio-économiques en mutations rapides et quelquefois aléatoires. A ces critères généraux s'ajoutent des critères spécifiques propres à l'industrie automobile :

- L'industrie automobile est une industrie de grande série, qui demande des investissements très lourds. Or, la grande diffusion de l'automobile la rend très sensible aux critères sociaux. On a là deux facteurs antagonistes : une rapidité de changement devant répondre aux critères sociaux et une inertie importante liée aux investissements déjà présents ou à faire.

- La logique d'étude conduit à une durée de conception qui va en se réduisant. Aucun risque technologique ne peut être pris pendant la durée du projet. Ceci favorise naturellement les solutions existantes et bien validées.

- La structure de l'industrie automobile a évolué vers un partage des responsabilités entre constructeurs et équipementiers. Fabrication interne (30 % du véhicule seulement) ou fabrication externe peuvent entraîner des choix différents de matériaux en fonction du lieu de maîtrise des technologies.

Les contraintes de choix pour l'industrie automobile

Les contraintes qui pèsent sur le choix des matériaux sont liées à l'évolution du produit automobile qui, dans le cadre d'une concurrence exacerbée, doit satisfaire les réglementations et les attentes des clients.

L'augmentation de la concurrence

La concurrence est particulièrement vive en Europe, où le marché est plus un marché de renouvellement qu'un marché d'équipement. Les conséquences de cette concurrence sont une guerre des prix et une diversification importante de l'offre produit. Le facteur coût a bien entendu une implication

directe sur le choix des matériaux, en interdisant bien souvent l'utilisation de matériaux à très haute performance. Le facteur diversification est relié à l'augmentation du nombre de modèles avec la réduction de pénétration de chacun d'entre eux pour laisser de moins en moins de segments de marché inoccupés. L'existence de ces séries plus petites doit permettre le choix des matériaux nouveaux associés à des procédés de transformation rentables pour des cadences de fabrication faibles.

Les réglementations

Un grand nombre de contraintes sont imposées par des critères liés à la sécurité et à l'environnement.

La sécurité

Les normes relatives aux chocs concernent le couple matériau/conception sous les points de vue capacité de résistance et, surtout, absorption progressive d'énergie. Les normes relatives aux préventions des risques d'incendie interdisent des matériaux inflammables dans le compartiment moteur, demandent des matériaux à perméabilité réduite, des jonctions étanches.

L'environnement

Le poids le plus fort pèse sur la pollution par les gaz d'échappement, et les matériaux interviennent au niveau des matériaux spécifiques du traitement post-combustion, mais surtout pour l'allègement des véhicules. En effet, la réduction de CO₂ passe par la réduction de consommation dont un facteur important est le poids du véhicule. L'environnement, c'est aussi la pollution sonore émise vers l'extérieur, et c'est encore le traitement des véhicules en fin de vie. Dans ce dernier cas, c'est au niveau des matériaux tous les problèmes liés au recyclage de la matière ou à sa valorisation énergétique, sans oublier les matériaux interdits (du type amiante), qu'il faut prendre en compte.

Les attentes du client

Certaines sont identiques à celles évoquées dans le cadre de la réglementation comme les attentes en matière de sécurité et d'environnement. On retrouve également les problèmes de coût d'achat déjà évoqués dans le chapitre concurrence, auquel il faut ajouter le coût d'utilisation : en particulier, la vulnérabilité et les coûts de réparation correspondent de plus en plus à des classes

d'assurance. Il faut y ajouter la qualité qui rassemble des notions de fiabilité et de durabilité, ce dernier paramètre obligeant à étudier des mécanismes de dégradation tels que l'usure, la fatigue, la corrosion, mais surtout oblige le concepteur à prendre en compte l'existence ou la non-existence des méthodes prédictives de durabilité. Et, bien entendu, il ne faut pas oublier les exigences de confort et d'habitabilité.

Les conséquences en termes de matériau

En termes de produit, l'ensemble des contraintes conduit à des évolutions dont les principales sont l'augmentation des dimensions et de l'habitabilité, l'augmentation des puissances, l'augmentation des niveaux d'équipement, l'augmentation des garanties en service, et l'augmentation du poids, conséquence de l'amélioration du confort et de la sécurité.

En termes de matériau, il est évident que les contraintes de choix vont être spécifiques aux différents cahiers des charges. Suivant que la pièce est une pièce mécanique, une pièce de structure, une pièce de peau, une pièce de sécurité..., les contraintes liées au matériau seront plus de type résistance, déformabilité, durabilité, etc. Mais, de façon transversale, le concepteur devra toujours avoir le souci de l'**allègement**, de la **fiabilité**, du **recyclage** et bien entendu du **coût**.

Ces contraintes de choix conduisent à des compromis délicats entre coût/poids/performance qui peuvent être modifiés par des paramètres d'industrialisation (taille de série, fabrication interne ou externe, stratégie de développement). Ceci explique la continue compétition entre matériaux et les choix différents faits par les constructeurs pour une pièce répondant à une même fonction.

Mais ces contraintes expliquent aussi pourquoi le scénario d'évolution continue prédomine devant le scénario de rupture. En effet, le matériau le plus performant est celui qui répond au plus juste pour toutes ces caractéristiques. Mais peu de matériaux nouveaux obéissent à la totalité des critères et, surtout, la durée de développement nécessaire à leur

introduction est souvent de plus de dix années. Le nombre de paramètres à considérer conduit alors à privilégier une démarche d'optimisation progressive.

Cependant, ces mêmes contraintes, par exemple en termes d'allègement, en termes de coût pour les petites séries, vont être un facteur prédominant pour conduire un scénario de rupture relatif aux nouveaux matériaux ou plutôt, aux matériaux nouveaux pour l'automobile. Voyons quelques exemples :

Allègement

L'allègement est un facteur indispensable pour la réduction de la consommation (diminution des polluants et de la production de CO₂). Le scénario de continuité correspond aux progrès réalisés par la meilleure utilisation des aciers grâce au calcul, et par les progrès réalisés dans les propriétés de ces matériaux. Un programme piloté par les grands sidérurgistes mondiaux (Ultra Light Steel Auto Body) a ainsi montré qu'un allègement de 25 % était possible. Concernant le scénario de rupture, dans le domaine des polymères, on peut citer des exemples pour des véhicules de petite et moyenne séries : ressort composite du véhicule Trafic, carrosserie SMC (voir *glossaire*) de l'Espace, capot SMC de l'Alfa Roméo, hayon SMC/thermoplastique de la Mercedes classe A... sans oublier, en 1955, le pavillon polyester de la DS, en 1982, le volet arrière et la custode de la BX Citroën. En grande série, il faut noter l'application de l'aile plastique de la Scénic et de la Clio2 qui permet un allègement, une résistance aux petits chocs grâce au développement d'un alliage thermoplastique (PA/PPO de GEP) conducteur et résistant à haute température (montage sur véhicule avant cataphorèse). L'aluminium a aussi son véhicule phare avec l'Audi A8 fabriquée en petite série à partir d'une structure en cage d'oiseau réalisée en profilés d'aluminium recouverte de panneaux en tôle d'aluminium. Un véhicule de moyenne série - l'A2 - toujours fabriqué par Audi est aussi aujourd'hui commercialisé. Le magnésium, déjà présent sur les « Coccinelles VW » (18 kg), fait à nouveau une entrée en force : supports de colonne de direction, carters, armatures de volants,

traverses de planches de bord, armatures de sièges.

Sécurité passive

La maîtrise des déformations se fait en recherchant la meilleure dissipation de l'énergie suivant plusieurs zones correspondant chacune à plusieurs vitesses d'impact. Par exemple, la zone parking correspond à un non-dommagement jusqu'à 4-5 km/h. C'est l'action du bouclier que l'on appelait pare-chocs ou même enjoliveur. Du matériau métallique chromé, il est passé en 1971 en SMC sur la Renault 5 regroupant ainsi la fonction mécanique et la fonction esthétique. L'évolution « design » vers des boucliers lisses, ton caisse, ont conduit à utiliser une peau PP + EPDM sur poutre SMC, puis sur un caisson en PP. La sensibilisation au vieillissement a fait encore évoluer le matériau vers un copolymère polypropylène éthylène hétérophasique mais qui, difficile à peindre, nécessite un traitement de surface par flammage, rayonnements ultraviolets ou traitement plasma. Il s'agit là d'une compétition entre matériaux polymères. Pour les vitesses supérieures, on renforce l'avant du véhicule par des poutres en acier ou aluminium, en plaçant de plus des absorbeurs en mousse. Les mousses sont le plus souvent en PU, en alliage PPO-PS, en PP, mais les mousses en aluminium pourraient être envisagées. Ajoutons que toutes ces mousses peuvent être largement utilisées dans des paddings, des panneaux de porte, des revêtements de pied milieu...

Environnement

Considérons deux exemples, celui de la perméabilité des réservoirs d'essence et l'élimination du PVC dans le gainage des fils électriques. Les réservoirs sont en PEhd fluorés pour combattre la perméabilité à l'essence du PEhd. Les normes de plus en plus sévères ont conduit, outre l'amélioration de la fluoruration, au développement de nouveaux matériaux. C'est le cas de l'incorporation de lamelles imperméables de PA ou de EVOH (éthylène alcool polyvinylique) entre deux couches de PEhd. L'évolution du gainage des fils basse tension a été conduite à la fois, pour uniformiser la nature du matériau de gainage et pour

éliminer le PVC. Une première solution a consisté à développer du PE-X FR réticulé par irradiation. Ce matériau cher a ensuite été remplacé par un PP compound de polypropylène copolymère stabilisé, avec retardateur de flamme polybrome/oxyde d'antimoine.

De nombreux autres exemples auraient pu être donnés dans le domaine du confort (tissus, toucher, couleur, odeur, verres athermiques), du recyclage, de la fiabilité (résistance à la corrosion, au vieillissement des plastiques)...

Conclusion

L'importance de la chimie pour les matériaux de l'automobile apparaît clairement dans les progrès réalisés par les matériaux conventionnels et le développement de matériaux nouveaux. Nous savons que l'évolution des matériaux se

fait plus pas à pas que par rupture, car il est vrai que des freins puissants à la nouveauté existent : freins techniques (durée de validation, réparabilité), freins économiques (coût des matériaux, investissements déjà en place), freins culturels (les concepteurs et fabricants ont une culture acier, les clients sont très conservateurs). Cependant, les contraintes d'allègement et de sécurité, la limitation des tailles de série sont des facteurs puissants de révolution pour les matériaux. Et l'on peut penser raisonnablement que la chimie ne verra pas ses efforts vains et que les étagères ne seront plus remplies de produits innovants, ou trop chers ou arrivés trop tard dans le développement du produit automobile. De nombreux véhicules en cours de commercialisation, comme l'Avantime (figure 3) préfigurent cette utilisation multiple de matériaux conventionnels et nouveaux.



Figure 3 - Un véhicule innovant - l'Avantime - qui fait appel à des matériaux « nouveaux » : carrosserie plastique (SMC), toit en verre, aluminium...

Glossaire

- EPDM : terpolymère d'éthylène propylène et d'un diène
- GEP : General Electric Plastics
- PA : polyamide
- PEhd : polyéthylène haute densité.
- PP : polypropylène
- PPO : polyoxyde de phénylène
- PS : polystyrène
- PU : polyuréthane
- PVC : polychlorure de vinyle
- SMC : sheet molding compound : polymérisation d'un mélange de prépolymère et de divers renforts et charges, dans un moule sous presse