

Matériaux de l'industrie automobile

Gérard Maeder

Summary

Materials in the automobile industry

The automobile industry represents an exceptional market which gives rise to technical, economic and marketing rivalry among materials. The automotive engineer has to examine this extended materials offer to seek optimum solutions to shifting vehicle specifications, which evolve with market pressure, customer expectations and regulatory constraints. This context of constant change stimulates studies aimed at introducing new materials but taking into account the main factors that affect the choice of materials - quality, cost, delivery, weight, recycling – depending themselves on the volumes of production.

Mots-clés

Industrie automobile, choix des matériaux, facteurs d'influence.

Key-words

Automobile industry, choice of materials, factors of influence.

L'automobile : un marché important pour les matériaux

Le marché mondial de l'automobile a représenté en l'an 2000 près de 40 millions de véhicules. Puisque le poids moyen d'un véhicule est d'environ une tonne, ce sont donc 40 millions de tonnes de matériaux qui sont utilisées dans cette industrie représentant un exceptionnel marché, non seulement pour les sociétés productrices de matériaux, mais aussi pour les sociétés produisant des machines de formage, d'assemblage, de traitements de surface. Une compétition intense, sur les plans technique, économique et marketing, en résulte, chacun arguant de la supériorité de ses produits.

Voici ci-après quelques slogans tirés de publicités parues dans des revues techniques spécialisées :

- L'industrie sidérurgique : « *Car of the future: what man can imagine, steel can do* ».
- L'industrie de l'aluminium : « *A lot of grey matter will be used in designing the car of tomorrow. Just as well, it's also the color of aluminium* ».
- L'industrie des composites : « *You'll see advanced thinking that's putting composite technology to some remarkable use...* ».

Cette compétition peut même être féroce, par exemple entre partisans de l'acier et de l'aluminium.

- Le véhicule « tout aluminium » Audi A2 vu par l'industrie sidérurgique : « *Le gain de poids est plus proche des 50 kg plutôt que des 150 kg annoncés* ».
- La réponse de l'industrie de l'aluminium sur une étude d'analyse de cycle de vie réalisée par l'industrie sidérurgique : « *Les hypothèses prises par la sidérurgie sont totalement erronées* ».

L'ingénieur concepteur est ainsi placé dans une situation décrite sous le nom d'hyperchoix. Mais celui-ci doit alors examiner les matériaux qui répondent aux cahiers des charges auxquels sont soumis les pièces ou les ensembles de pièces, cahiers des charges qui évoluent eux-mêmes en fonction du contexte automobile représenté par les attentes

des clients et les contraintes réglementaires, la concurrence, l'évolution technologique.

Le contexte automobile

Clients et réglementations

Le produit automobile se doit de satisfaire les clients et de respecter les réglementations. En termes d'attentes des clients, on notera le coût (achat, réparation, revente), le confort et l'habitabilité, la sécurité, la qualité (durabilité), le respect de l'environnement et une consommation réduite. En termes de réglementation, il faut surtout retenir la sécurité active et passive (normes de chocs) et l'environnement (pollution par les NOx, HC, CO, particules, influence du CO₂ sur l'effet de serre, pollution sonore, traitement des véhicules en fin de vie). Les conséquences sur le produit automobile sont une augmentation des dimensions et de l'habitabilité, une augmentation des niveaux d'équipements, l'amélioration de la sécurité et de la durabilité, l'augmentation du poids résultant de l'augmentation du confort et de la sécurité, et enfin une augmentation des puissances pour compenser celle du poids des véhicules.

Concurrence

Le produit automobile doit aussi se vendre, et pour un constructeur, cela veut dire placer son produit à un niveau de prix concurrentiel à performances comparables par rapport aux autres constructeurs. Cette concurrence qui est mondiale est très intense. Elle se traduit pour la clientèle par :

- Une plus grande diversité d'offres. Des modèles à grande diffusion vont côtoyer une grande variété de productions à petites ou moyennes cadences. De la même façon, la diffusion de certains modèles à l'échelon mondial se traduira par l'accroissement des variantes correspondant à des spécificités régionales.
- Des carrosseries et des agencements intérieurs différents à partir de bases roulantes standardisées : la diversité apparaîtra en associant un plus grand nombre de

modèles de caisses associées à des plates-formes les plus communes possibles. Il va falloir gérer les compromis entre la standardisation des bases roulantes et la diversité d'apparences et d'usages. Ce compromis doit être obtenu par une recherche de commonalité d'organes ou de sous-ensembles (groupe motopropulseur, trains, échappement, réservoir...) et des règles communes d'architecture et de montage.

- Une durée de vie du produit toujours aussi longue : les cycles de renouvellement devraient rester entre 5 et 7 ans, avec une fiabilité à toute épreuve. Le client est sur ce point de plus en plus exigeant, et c'est le facteur de fidélisation le plus fort.

Trois enjeux concernant les matériaux sont à rattacher directement aux tendances décrites ci-dessus :

- La multiplication des modèles de caisses devrait se traduire par des volumes moindres en composants spécifiques et favoriser ainsi le développement des nouveaux matériaux présentant l'avantage d'un meilleur équilibre entre coût d'investissement, risques économiques associés et prix de revient du composant.
- La multiplication des modèles à petite cadence pourrait avoir un impact non négligeable sur les systèmes industriels. On devrait assister au développement de nouveaux modes d'organisation de la production (exemple : Smart).
- La recherche de la qualité-fiabilité se traduit par le repli sur des solutions maîtrisées que l'on optimise. Ceci explique la difficulté à introduire des matériaux nouveaux dont on ne connaît pas le comportement à long terme.

Facteurs d'évolution technologique

Dans le domaine des technologies, trois facteurs d'importance auront des répercussions sur l'architecture des véhicules de demain : l'évolution des matériaux – objet de cet article –, mais aussi l'intrusion croissante de l'électronique, et les choix de motorisation en réponse aux réductions de consommation et de pollution.

Les systèmes électroniques représentent une part croissante de la valeur du véhicule. Ils devraient atteindre 30 % des achats dont 10 % pour les seuls calculateurs. Il faut souligner que la valeur moyenne de l'ensemble des systèmes électroniques dépassera la valeur de la tôle. Il est évident que cette industrie électronique utilise des matériaux spécifiques dont le développement est très important, mais pas seulement pour l'industrie automobile.

Pour le choix de la motorisation, il y a tout d'abord le problème du moteur à combustion interne, à essence ou diesel, qui est confronté à des exigences de diminution de la pollution (NOx, HC, CO, particules) et de diminution de la consommation (pour réduire le CO₂) de plus en plus contraignantes. Les matériaux sont essentiellement concernés par la réduction des frottements dans les moteurs et les boîtes, par l'allègement des parties mobiles, par les aspects de catalyse... et par tous les capteurs qui permettent la régulation optimale du fonctionnement du groupe motopropulseur. Il y a ensuite le développement de motorisations très peu polluantes :

- L'alternative gaz : elle a un avantage considérable en matière de pollution (moins de CO₂, NOx et CO). Le problème matériaux est lié aux réservoirs respectant les futures normes de sécurité.
- L'alternative électrique : on connaît ses avantages et ses inconvénients (autonomie limitée à 200 km). Il ne semble pas que ce soit une solution généralisée à court terme. En

termes de matériaux, ce sont bien entendu les recherches sur les stockages/production d'énergie électrique (batteries, pile à combustible...), sur les moteurs (puissance spécifique) qui doivent être menées.

- L'alternative hybride : c'est sans doute cette motorisation qui présente l'alternative la plus crédible pour satisfaire les normes ULEV (ultra low emission vehicle). A côté des matériaux nécessaires pour faire progresser les moteurs classiques et électriques, on retrouve ici l'importance des systèmes électroniques auxquels il faut avoir recours pour piloter les deux modes de production.

Les paramètres d'influence de l'évolution des matériaux/procédés

C'est la pièce ou la fonction qui doivent répondre à un cahier des charges. C'est donc le couple matériau-procédé de mise en œuvre qui doit être pris en compte par le concepteur, dans le respect des paramètres classiques de qualité-coût-délai (QCD), auxquels on ajoute pour les paramètres spécifiques le poids et le recyclage (PR).

La qualité

Nous la traduisons en termes de fiabilité. Les progrès faits par la modélisation et la simulation du comportement des matériaux et des procédés de transformation ont réduit les coefficients de sécurité. Les outils de calcul permettent une utilisation optimisée des formes et des dimensions, entraînant une interaction forte entre conception et réalisation, et sont donc source d'une meilleure utilisation des matériaux. Encore faut-il que les lois de comportement des matériaux soient connues.

Le coût

Au coût des matériaux, il faut ajouter celui de transformation qui est lui-même fonction des cadences de production, mais aussi des progrès qui peuvent être réalisés dans le temps. Ce dernier facteur (courbe d'expérience) est très difficile à prendre en compte.

Le délai

Dans le schéma de développement d'un véhicule, la réduction du temps de conception des pièces et des outillages est primordiale. Le prototype rapide, la simulation et la modélisation sont donc à développer et à utiliser pour valider le plus rapidement possible les solutions en compétition. Mais les matériaux vont encore être plus concernés par les problèmes de validation de la **durabilité** : fatigue, corrosion, vieillissement des plastiques. Si la prévision de vie en fatigue a fait des progrès remarquables tant en simulation qu'en expérimentation (bancs multivérins), il n'en est pas de même en corrosion ou en vieillissement des plastiques. En corrosion, les assemblages, les accostages de matériaux différents sont difficilement pris en compte, les méthodes d'essais accélérés sont nombreuses et plus ou moins prédictives. Le cas du vieillissement des plastiques est semblable à différentes méthodes d'essais accélérés diversement utilisées, et des résultats divergents entre vieillissement naturel et vieillissement accéléré (*figure 1*). Le paramètre durabilité est particulièrement important quand on sait que l'on veut garantir dans un futur proche des véhicules pouvant rouler jusqu'à 300 000 km.

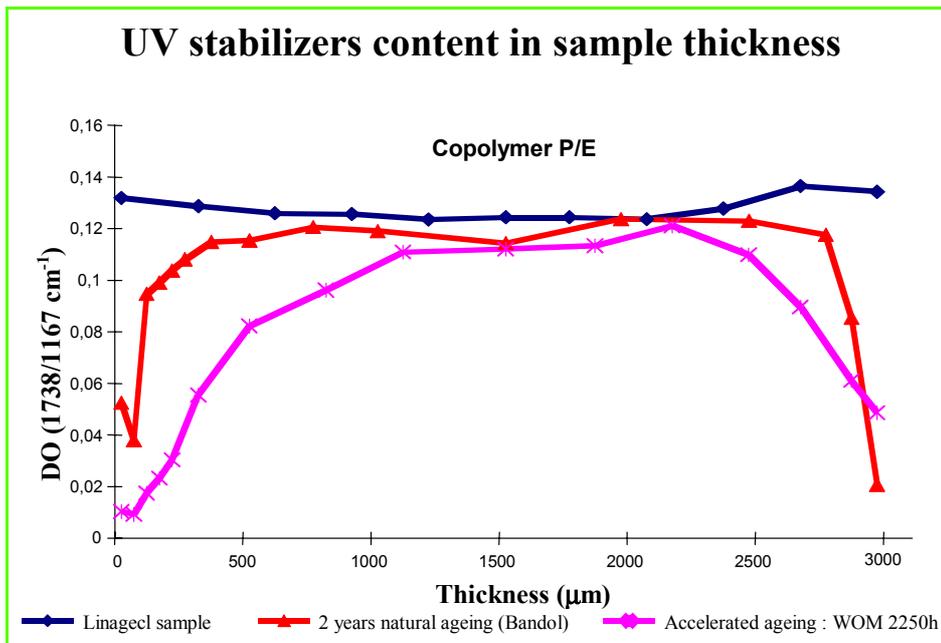


Figure 1 - Différence entre le vieillissement naturel (courbe rouge) et le vieillissement accéléré (courbe rose).

Le poids

La masse des véhicules augmente régulièrement. Chaque génération de véhicules de la même catégorie a vu son poids augmenter de l'ordre de 10 %, soit 100 à 150 kg. Cette augmentation est principalement liée à l'amélioration des équipements (confort) et de la sécurité passive qui a conduit à renforcer le bloc avant du véhicule pour une absorption d'énergie augmentée et progressive. Or, il y a une relation directe entre masse et consommation, en particulier en zone urbaine sur de courts trajets favorisant de nombreuses phases accélérations-décélérations et démarrages-arrêts.

La réduction de consommation est une attente client, mais aussi une contrainte réglementaire liée à l'environnement dans le cadre de la réduction des émissions de CO₂ (effet de serre). La Communauté Européenne a accepté la proposition de l'Association des Constructeurs Européens d'Automobiles (ACEA) de réduire la consommation des véhicules de 186 à 140 g sur la période 1995-2008. A côté des actions minimisant les frottements de roulement, les pertes par frottement des moteurs et des boîtes, les consommateurs électromécaniques, en optimisant l'aérodynamisme, la thermodynamique du moteur, le choix des matériaux va intervenir dans la réduction de la consommation par les actions d'allègement.

La répartition de la masse en grandes fonctions d'un véhicule (figure 2) montre la part importante de la caisse ferrée peinte qui va, avec quelques pièces de liaison au sol, faire l'objet de la majorité des études d'allègement.

On sait concevoir et construire des véhicules allégés, mais à un coût prohibitif. Les voies de progrès sont bien connues : soit améliorer l'usage des matériaux classiques par un meilleur dimensionnement, soit utiliser des matériaux « nouveaux » pour l'automobile (profilés d'aluminium, tôles d'aluminium, matériaux thermoplastiques ou composites, magnésium). Les nouveaux matériaux nécessitent une approche différente de la fonctionnalité des diverses pièces, une profonde modification des technologies de fabrication et

d'assemblage, et de l'organisation des lignes de montage. On va sans aucun doute vers l'utilisation de matériaux multiples (mixage entre aluminium, acier, composites...) et de multimatériaux (tôles sandwich, mousses métalliques, nids d'abeille, structures alvéolaires...), avec des moyens nouveaux d'assemblage (assemblage mécanique, collage) et de mise en œuvre (cintrage, hydroformage, injection multiple...).

Le recyclage

La politique de l'Union Européenne envers l'environnement est d'accroître la valorisation des véhicules en fin de vie. La Commission Européenne vient d'approuver un projet de directive qui obligera les constructeurs à recycler (réemploi + recyclage matière + valorisation énergétique) tous les véhicules hors d'usage (VHU) à hauteur de 85 % en poids en 2006 et 95 % en 2015. De plus, l'usage de certains éléments comme les métaux lourds

(plomb, mercure, cadmium et chrome 6), mais aussi le chlore, sera très limité, sinon interdit. Ce dernier point nécessite une traçabilité permettant la localisation de tous les éléments dans un véhicule. Ceci implique toute une réflexion de conception permettant le démontage de pièces, le drainage des fluides, un choix de matériaux permettant le recyclage... Deux points doivent être notés comme difficiles au regard de ce critère de recyclage : ce sont les multimatériaux et les assemblages.

La stratégie d'évolution

Le scénario le plus usuel est celui du progrès continu, qui permet d'utiliser des matériaux classiques avec des propriétés spécifiques améliorées comme la résistance

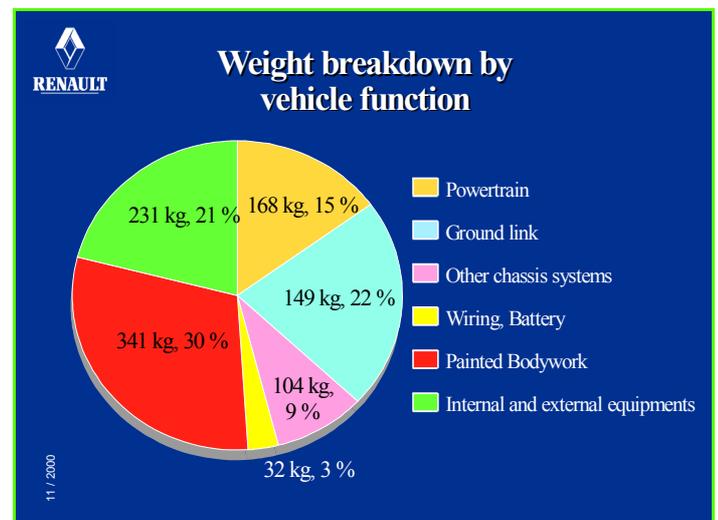


Figure 2 - Répartition de la masse par grandes fonctions de véhicule (Mégane Renault).

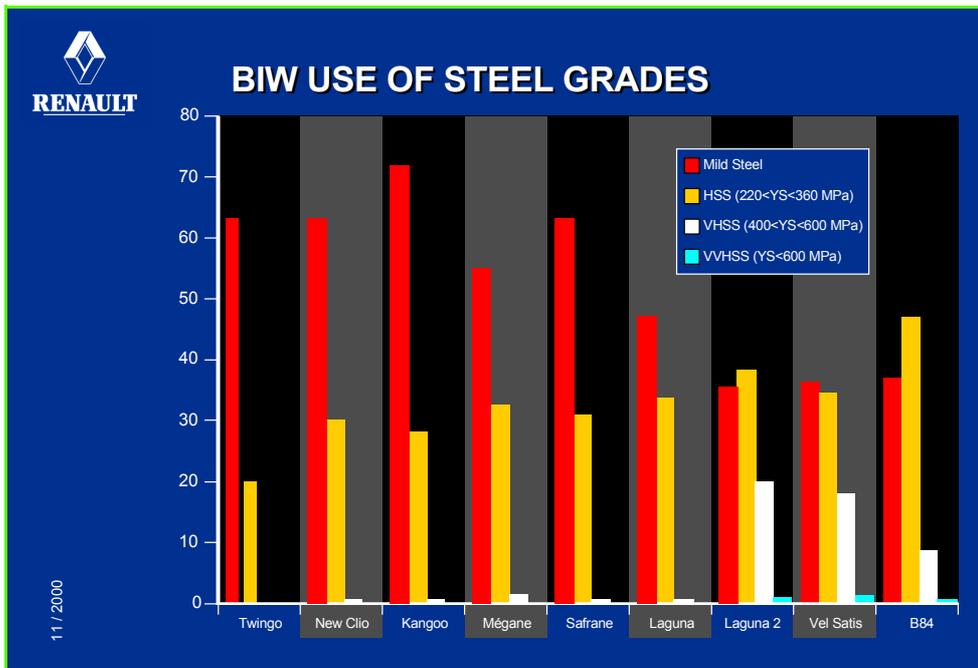


Figure 3 - Croissance des aciers à haute limite élasticité pour la caisse en blanc.



Figure 4 - Un exemple de multimatériaux : l'avant de la Laguna II de Renault (aile en alliage de polymère, capot en aluminium, phares en polycarbonate, peau de bouclier en polypropylène, sur poutre en acier à très haute limite d'élasticité).

l'aluminium, le magnésium, les plastiques et les composites. Des applications nombreuses peuvent être aujourd'hui mentionnées, bien entendu sur des véhicules de petite et moyenne séries (Audi 8 et A2 pour l'aluminium, panneaux composite pour l'Espace), mais aussi de grande série (panneaux plastiques de la Saturn de GM, ailes plastiques des véhicules Renault actuels...). Le magnésium est largement déployé pour des supports de colonne de direction, des armatures de sièges, des volants, des poutres de planche de bord. Des solutions plus exploratoires visent à utiliser les composites à fibres de carbone. L'idéal est d'utiliser le bon matériau à la bonne place, et parallèlement d'estimer le coût « acceptable » pour l'introduction de nouveaux matériaux. On se heurte à un ensemble de difficultés liées aux paramètres

technico-économiques QCDPR, mais aussi à la culture de l'entreprise. Il est toujours difficile d'innover, en particulier lorsque l'on touche à la structure et à la carrosserie du véhicule. La première contrainte est celle du coût initial, et surtout la difficulté de prédire le coût final en fonction de l'expérience acquise et de l'influence de la série : la fameuse courbe d'apprentissage déjà citée. La seconde contrainte est la difficulté de créer un vrai réseau interactif entre les secteurs concernés par l'innovation. Les designers, concepteurs, ferreurs, monteurs... doivent converger vers un des compromis permettant l'introduction de l'innovation.

La prise en compte de matériaux nouveaux progresse, bien sûr pas à pas, même sur les véhicules de grande série. Je citerai comme exemple et pour conclure l'avant de la Laguna II (figure 4) qui réunit une aile en alliage de polymère, un capot en aluminium, un phare en polycarbonate, une peau de bouclier en polypropylène montée sur une poutre en acier trempé à très haute limite d'élasticité.

mécanique, l'usinabilité, les propriétés d'emboutissage... L'exemple des tôles d'acier est caractéristique avec l'introduction de tôles à haute limite d'élasticité qui représentent aujourd'hui 30 % de la caisse en blanc d'un véhicule (figure 3). C'est aussi le programme « Ultra Light Steel Auto Body » mené par les sidérurgistes mondiaux, utilisant les propriétés des nouveaux aciers, de nouveaux moyens de mise en forme (hydroformage, cintrage) ou d'assemblage (laser) qui a montré qu'une réduction de poids de plus de 20 % pouvait être atteinte.

Le scénario le plus médiatique est celui de la démarche de rupture par l'utilisation de matériaux de faible densité comme



Gérard Maeder

est Directeur de l'Ingénierie des matériaux Renault*.

* Technocentre, TCR LAB 1 36, 1 avenue du Golf, 78288 Guyancourt Cedex.
Tél. : 01 34 95 03 42. Fax : 01 34 95 03 35.
E-mail : gerard.maeder@renault.com