

HADRIEN REDOUIN



INOXYDABLE

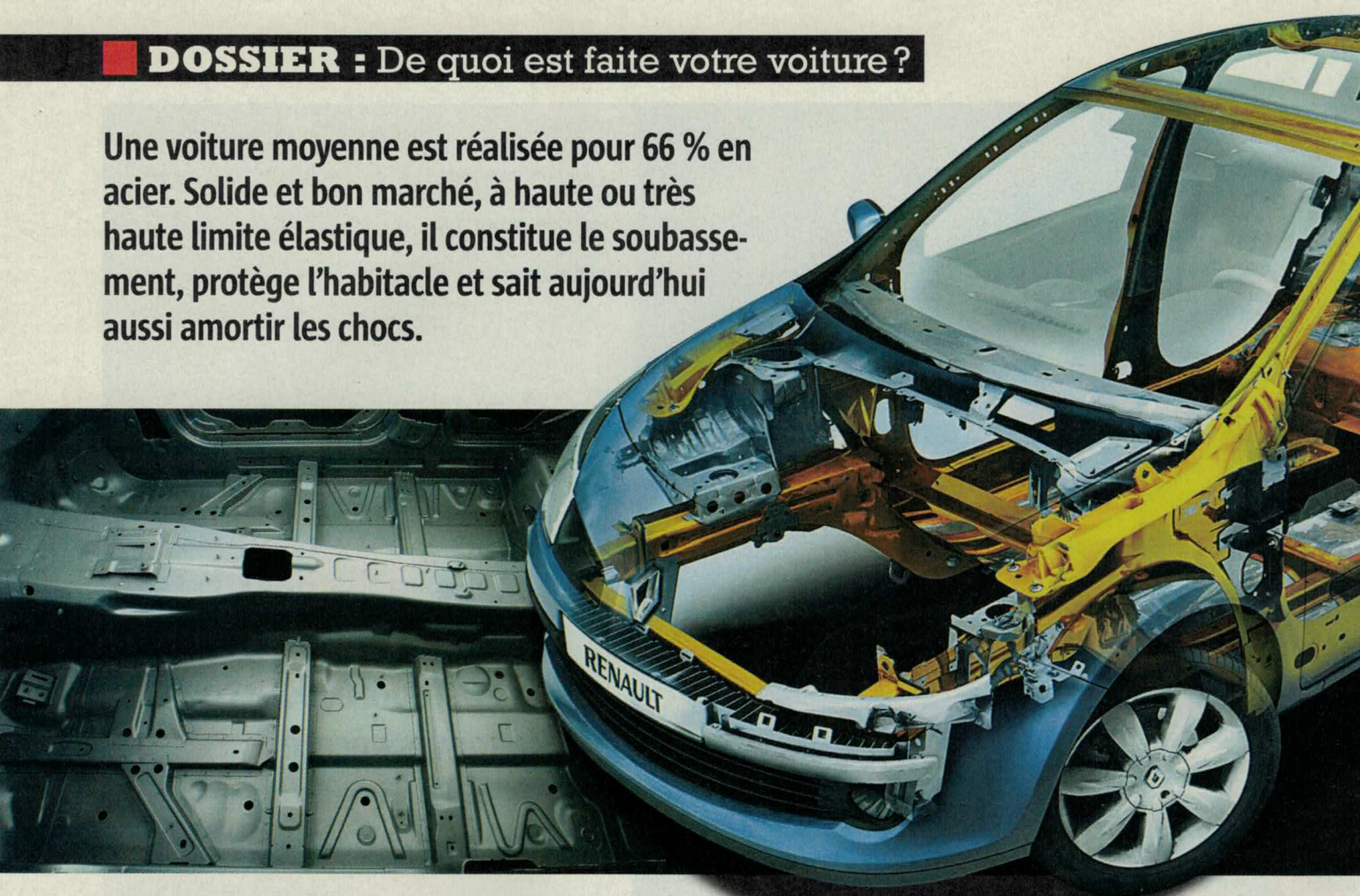
Seules les sportives ou les voitures exclusives ont droit aux matériaux composites ou au "tout alu". En série, l'acier règne toujours.

Les nouveaux matériaux envahissent le monde et les parties visibles de l'automobile mais, pour l'essentiel, la "ferraille" est toujours là. Pourquoi et pour combien de temps encore ?

PAR VINCENT GABRIEL ET PHILIPPE GEGOUT

De **QUOI** *est faite* *votre voiture ?*

Une voiture moyenne est réalisée pour 66 % en acier. Solide et bon marché, à haute ou très haute limite élastique, il constitue le soubassement, protège l'habitacle et sait aujourd'hui aussi amortir les chocs.



L'ACIER RÉGNE EN M

Si l'automobile fit ses débuts sous les mêmes atours que les voitures hippomobiles fabriquées en bois, le métal, et l'acier en particulier, a vite pris le dessus sur les autres matériaux.

Un succès dû à son excellent rapport entre masse et résistance mécanique. En effet, dès que l'automobile est entrée dans l'ère moderne, il fallut la doter d'une structure capable de résister à de fortes contraintes afin de garantir son bon fonctionnement : l'alignement des composants mécaniques, le débattement des suspensions, la fermeture des éléments mobiles de carrosserie ne pouvaient effectivement se contenter d'une géométrie approximative. La voiture devait aussi être capable de résister aux chocs produits par des chaussées souvent en mauvais état et ce, le plus longtemps possible. Toutes choses, bien sûr, encore vraies aujourd'hui, mais auxquelles se sont ajoutées de nouvelles contraintes, toujours plus sévères, en termes de sécurité des occupants.

SOLIDE ET BON MARCHÉ

Solide, résistant, abondant et donc relativement bon marché, l'acier, ou plus exactement la tôle d'acier, est toujours le composant essentiel des automobiles. Au nombre de ses qualités, il convient de citer d'abord sa capacité à être mis en forme par forgeage ou estampage, et à être assemblé de diverses manières, soudage, rivetage, boulonnage, voire collage. En jouant sur les épaisseurs et les mises en forme, il est possible de réaliser les pièces les plus diverses et les plus complexes. Contrairement aux apparences, les plus simples sont les pièces d'habillage, la partie visible de cet iceberg qu'est une automobile. Leur fonction étant plus esthétique que structurelle, leurs qualités mécaniques ne sont pas primordiales. Elles sont pour cela réalisées dans des nuances d'acier que l'on peut qualifier "d'ordinaires", l'important étant que les tôles se prêtent bien à l'estampage pour réaliser les formes parfois complexes imaginées par les stylistes. L'état de surface à la sortie de la presse aura aussi une importance déterminante pour l'aspect de la pièce finie. Une tôle relativement malléable est

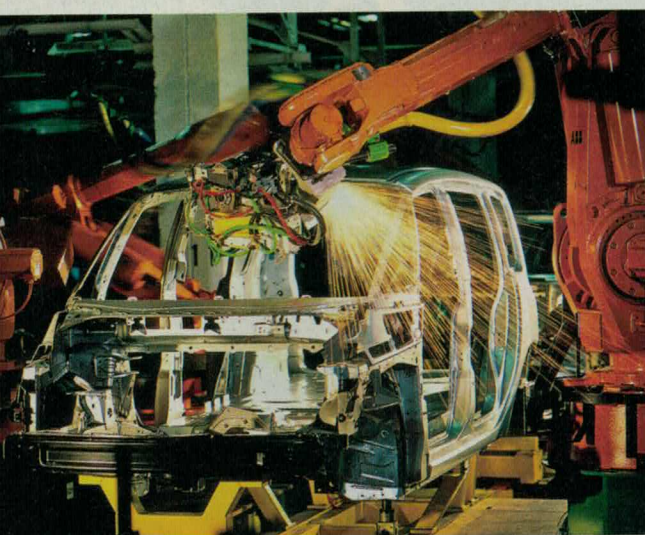
donc requise. Il est même possible d'envisager d'autres matériaux que l'acier pour les pièces "non travaillantes" : pavillon et capot en aluminium ou ailes en matériaux composites. Il en va tout autrement des pièces de structure, dont le rôle est de conférer à la voiture sa solidité. Celle-ci est aujourd'hui déterminée par de complexes calculs informatiques, l'objectif étant d'obtenir une résistance maximum pour un poids minimum. Très schématiquement, on peut découper une voiture en trois parties fonctionnelles : la plateforme, ou soubassement, qui va recevoir les organes mécaniques, moteur, transmission, suspensions ; la cellule habitable qui doit être quasi indéformable pour protéger les occupants ; enfin, les zones d'absorption avant et arrière chargées, comme leur nom l'indique, d'amortir les conséquences d'un choc. Ces parties ne sont construites ni de la même manière ni dans la même matière. Le plancher, les passages de roue, les supports de suspensions, les tabliers avant et arrière sont réalisés en "acier doux", comme les pièces neutres de la carrosserie. Faciles à mettre en forme, ces tôles peuvent être rigidifiées par des nervures ou des raidisseurs. De l'acier à haute limite



ET DE CINQ

La Clio III a gagné ses 5 étoiles aux tests EuroNCAP : aujourd'hui, grâce aux progrès des aciéristes, même les petites voitures arrivent à respecter les normes de sécurité les plus sévères.

udage (comme ici dans les ateliers Renault de Sandouville), retage, boulonnage et même alliage, l'acier se prête à toutes les mises en forme.



MAÎTRE

élastique (HLE) ou très haute limite élastique (THLE) est employé pour réaliser les longerons, les pieds avant, centraux et arrière et les baies de pare-brise et de lunette arrière qui ceinturent l'habitacle. Ces tôles très résistantes à la déformation permettent d'obtenir une cage de survie indéformable sans trop grever le poids de la coque. De l'acier ultra-haute limite élastique (UHLE) est utilisé dans des composants spécifiques destinés à renforcer encore la sécurité, comme les renforts de portière chargés de limiter l'intrusion en cas de choc latéral. Les zones de déformation sont généralement constituées de tôles HLE qui présentent, dans leur mise en forme, des "plis" destinés à se déformer progressivement pour absorber l'énergie des chocs.

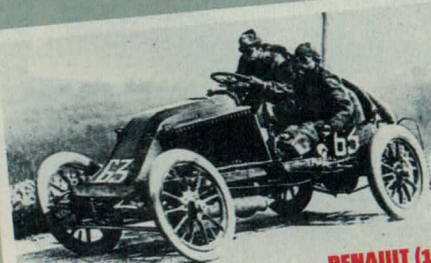
poids de la voiture ? En premier lieu parce que plus les tôles sont de grande qualité, plus elles sont coûteuses. Ensuite parce que parallèlement à l'augmentation de leur résistance, leur mise en œuvre se complique. L'effet "ressort" d'une tôle THLE rend impossibles des formes complexes par estampage à la presse, seul moyen de production compatible avec la grande série. Il est ainsi très difficile, et coûteux, de réaliser des pièces à déformation programmée avec ces nuances d'acier.

On note toutefois une augmentation importante des proportions de tôle d'acier de haute qualité dans la construction des voitures modernes. L'importance de la sécurité passive et les impératifs de réduction de poids sont passés par là. Ainsi, une Volvo S40 modèle 1997 était constituée à 64 % d'acier ordinaire, alors que sa remplaçante, en 2004, n'en comptait que 46 %, le solde se décomposant en 31 % de tôle HLE, 20 % de THLE et jusqu'à 3 % de UHLE.

Mais si les proportions entre acier ordinaire et tôles de haute qualité basculent progressivement en faveur de ces dernières, d'autres matériaux peinent à se faire une place. Aujourd'hui, une voiture moyenne est réalisée à 66 % en acier, une proportion qui ne varie plus guère, exception faite de modèles spécifiques très sportifs ou de très haut de gamme. Les GT d'exception, comme la Ferrari Enzo par exemple, ont des coques en fibre de carbone. Mais la problématique du prix de revient n'est plus la même.

Au fil de l'Histoire

Née "voiture sans chevaux", l'automobile a connu bien des mutations avant d'être fabriquée telle qu'elle l'est aujourd'hui. Suivez le guide !



RENAULT (1903)

Pendant de longues décennies, constructeur et carrossier ont constitué deux métiers différents : le client commandait un châssis qu'il faisait ensuite habiller de la carrosserie de son choix. Longtemps les techniques utilisées ont été similaires à celles employées par les charrons d'antan. Les premiers châssis étaient en bois, avant d'être rapidement réalisés en acier, matériau plus rigide et moins sensible aux outrages du temps. Les caisses ont elles-mêmes adopté dès les années 1910 une structure métallique sur laquelle venaient se fixer des panneaux de carrosserie en bois.

CITROËN B10



Conçue par l'américain Budd, la coque en acier fut éternisée dès 1918 sur les Dodge, mais sa première adoption en grande série fut le fait de Citroën, qui en fit le cheval de bataille de sa B10 en 1924. Un pas décisif permettant d'améliorer la vie quotidienne des utilisateurs (vieillessement supérieur à celui du bois), le prix de revient (pas de traitement particulier des panneaux) et la sécurité passive. Les recherches en la matière étaient encore très empiriques, mais Citroën faisait déjà des démonstrations publiques en jetant ses berlines du haut d'une falaise pour prouver la robustesse du "tout acier" !

ENTRÉE EN FORCE

DES ACIERS SPÉCIAUX

Plus les tôles ont une haute limite élastique, plus elles sont résistantes pour un même poids. Alors pourquoi ne pas en généraliser l'usage pour réduire systématiquement le

Au fil de l'Histoire

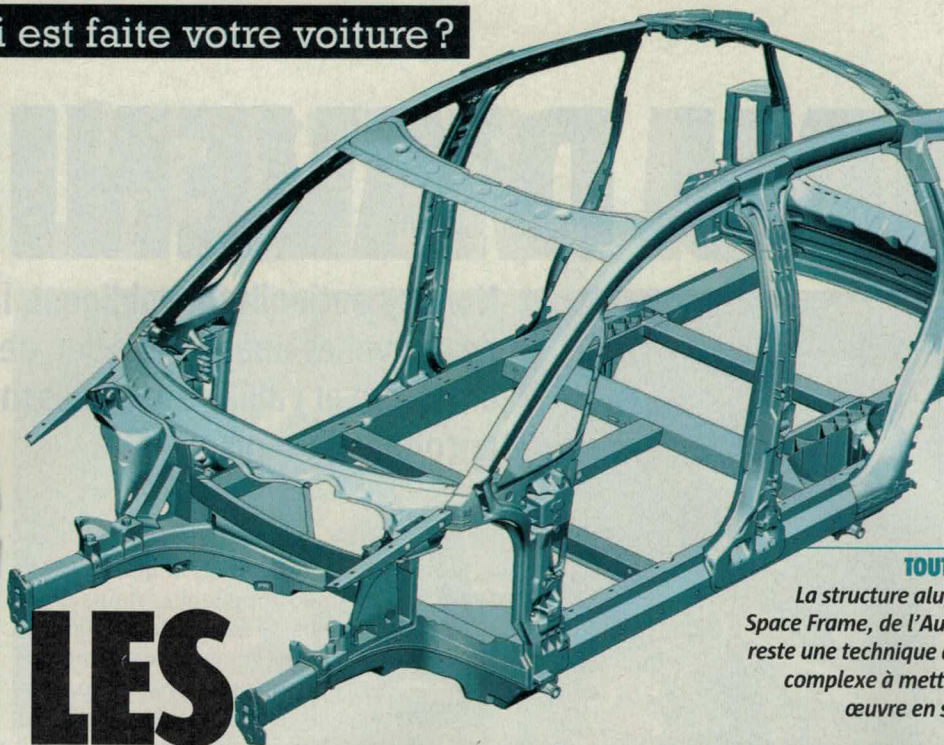


ASTON MARTIN DB5



AUDI A8

Les tentatives pour remplacer l'acier ne datent pas d'hier. L'usage de l'aluminium est vieux comme l'automobile : dès 1899, le pionnier Amédée Bollée présentait le Torpilleur, engin de compétition à caisse en aluminium. Par la suite, le génial Gabriel Voisin en fut l'inlassable promoteur entre les deux guerres. Plus près de nous, Grégoire ou Panhard et sa Dyna Z, à l'origine en aluminium, firent d'autres tentatives, bien avant Audi et ses A8 et A2 ! Le même Audi racheta d'ailleurs plusieurs Z pour les étudier avant de lancer ses propres réalisations... L'usage de l'aluminium s'est, depuis, étendu à certaines pièces mobiles (capot sur beaucoup de modèles récents... et sur la DS !) ou fixes (pavillon de la Peugeot 807 ou de la Mitsubishi Lancer Evo IX !), voire à la coque entière pour certains modèles de petite série. La coque des BMW Z8, Rolls-Royce Phantom, Ferrari F430, Lamborghini Gallardo, Jaguar XJ et XK, Aston Martin... ou la structure porteuse des Lotus Elise et Morgan Aero 8 est ainsi réalisée en aluminium suivant différents procédés (soudage, collage, rivetage, collage...). On peut enfin citer le procédé Superleggera du carrossier Touring, assemblage de minces tubes d'acier formant structure et habillés de panneaux de carrosserie en alliage léger. Une technique extrêmement coûteuse et exclusive, réservée à quelques bijoux des années 50 et 60 : chez Pegaso, Aston Martin (DB4, DB5 et DB6), Maserati (3500 GT)...



TOUT
La structure alu
Space Frame, de l'Au
reste une technique
complexe à mett
œuvre en s

LES CONCURRENTS DE L'ACIER

Le plus grand rival de l'acier est incontestablement l'aluminium, dont la présence dans la construction automobile progresse inexorablement. Il est pourtant admis chez les constructeurs que le remplacement de l'un par l'autre n'est intéressant que lorsque le gain de poids atteint 30 %. En effet, environ trois fois plus léger que l'acier, l'aluminium est aussi nettement moins résistant et... sensiblement plus cher ! Sa mise en œuvre est aussi plus coûteuse. L'aluminium ne peut en effet être soudé aussi facilement que l'acier et nécessite des méthodes de construction sophistiquées. En outre, les alliages d'aluminium ont des coefficients de dilatation importants qui posent de nombreux problèmes en fabrication. Lors du formage à chaud, les allongements importants sont complexes à gérer. Ainsi la simple cuisson de la peinture en cabine d'étuvage provoque des déformations et des mises en contrainte si la structure comporte des pièces en acier se dilatant moins. Des inconvénients qui cantonnent l'alumi-

Si l'acier n'est pas encore détrôné, aluminium, magnésium, titane et autres matériaux composites font l'objet de recherches... mais restent chers.

nium, en grande série, à des utilisations sur des pièces dites "non travaillantes" comme le capot ou les pavillons. Le "tout aluminium" reste donc réservé à une élite automobile, mais l'expérience acquise par le groupe Volkswagen grâce à Audi (Space Frame) ou par le groupe Ford avec Jaguar pourrait être assez rapidement généralisée. Par ailleurs, l'aluminium présente un autre atout : sa recyclabilité supérieure à celle de l'acier. Et pour tenir l'objectif d'une recyclabilité des véhicules supérieure à 95 %, le métal pourrait devenir incontournable.

PLUS LÉGERS, PLUS COÛTEUX

Encore plus léger que l'aluminium, et environ cinq fois plus que l'acier, le magnésium est aussi beaucoup plus résistant. Il est facile à transformer et permet, par simple coulée, de fabriquer des pièces complexes. Il es

Au fil de l'Histoire



CORVETTE C1



LOTUS ELITE

Le polyester sous toutes ses formes a été plus long à s'implanter : la Corvette sera, en 1953, le premier modèle de série à coque en plastique. Plus fort, Lotus fera, en 1957, avec l'Elite, une tentative de caisse monocoque en polyester, sans suite ! Depuis, l'usage des matières plastiques s'est d'abord intéressé aux planches de bord, puis aux pare-chocs (les fameux boucliers inaugurés par la Renault 5), avant de s'étendre progressivement aux ouvrants. Incroyablement légère et économe, l'AX de 1986 en est le meilleur exemple, avec son capot et son hayon en fibre de verre. En revanche, l'emploi intégral de panneaux en polyester, éventuellement supportés par une structure métallique, est resté marginal, même si les trois premières générations d'Espace ou certaines Saturn américaines en ont bénéficié. À cela, une raison simple : si l'emploi de plastiques dispense d'outillage lourd (ce qui en fait le favori des petits constructeurs et artisans !), son emploi n'est plus rentable à haute cadence, et le fini est moins bon qu'avec la bonne vieille "ferraille". On terminera en évoquant les structures pures et dures en carbone, aussi légères que résistantes, mais que leur coût prohibitif réserve aux sportives les plus huppées : Lamborghini Diablo et Murcielago (en partie), Ferrari F50, Ferrari Enzo, Mercedes SLR, Porsche Carrera GT ou encore Bugatti Veyron.

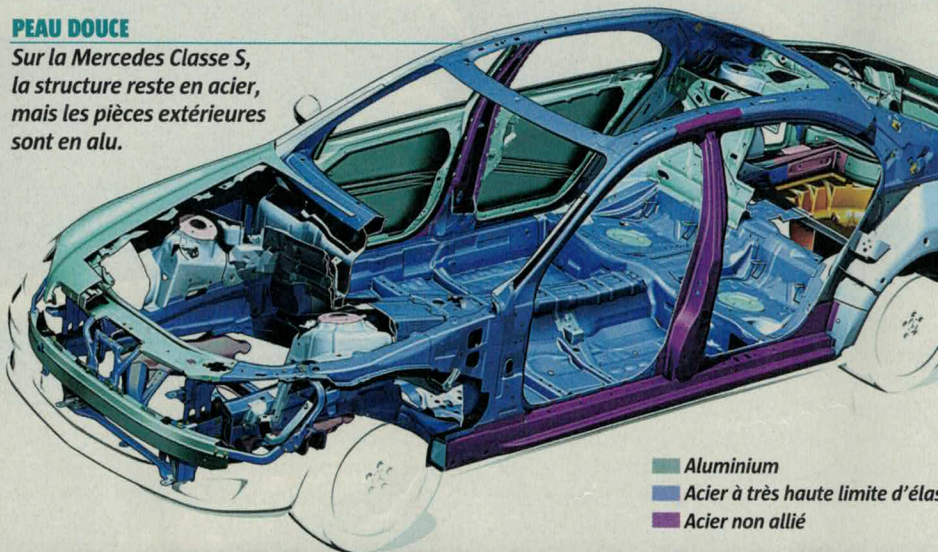
aussi deux fois plus cher que l'aluminium et certains se souviennent de l'accident d'une Mercedes aux 24 Heures du Mans 1955, où ce métal avait prouvé de manière dramatique son caractère inflammable. Il commence néanmoins à entrer discrètement dans les armatures des sièges ou les supports de tableau de bord de nos voitures.

Beaucoup plus cher, et très difficile à travailler, le titane possède d'excellentes propriétés mécaniques. Il est réservé aux véhicules de compétition ou à des pièces très spéciales comme les échappements de la Corvette.

Le verre, qui autrefois ne faisait que garnir les trous percés dans la carrosserie pour assurer visibilité et éclairage, fait désormais partie intégrante de la structure de la voiture. Collé aux éléments de carrosserie, il contribue à la rigidité en apportant sa transparence. Et l'agrément offert par les immenses pare-brise des C4 Picasso et Opel Astra GTC représente un véritable avantage concurrentiel. Malheureusement, le verre est pénalisé par son poids, même quand il est feuilleté. Un défaut rédhibitoire en cette période de chasse au CO₂. De plus, installé dans les parties hautes de la voiture, il élève d'autant le centre de gravité, dégradant ainsi le comportement.

PEAU DOUCE

Sur la Mercedes Classe S, la structure reste en acier, mais les pièces extérieures sont en alu.



LES COMPOSITES SE DIVERSIFIENT

Les matériaux composites ont pour eux leur faible poids. Un composite est le résultat de l'association de deux constituants : le renfort et la matrice. Le renfort constitue le squelette du matériau et en assure la résistance mécanique, il est souvent constitué de fibres. La matrice lie ces fibres entre elles pour assurer la cohésion, répartir les efforts et assurer la protection. Elle peut être constituée d'un polymère ou d'une résine organique. Il existe deux grandes catégories de composites : ceux de grande diffusion et ceux à hautes performances. Les premiers sont en général des plastiques armés par des fibres courtes noyées dans des résines thermodurcissables, comme le polyester armé de fibre de verre. Utilisé pour des éléments de carrosserie, ce dernier ne possède pas les caractéristiques mécaniques pouvant lui permettre un usage structurel. Mais les trois premières générations de Renault Espace en étaient habillées. Issus de l'aéronautique, les composites à hautes performances sont constitués de squelettes à fibres longues qui peuvent être tissés ou enroulés comme le Kevlar (fibre aramide) ou la fibre de carbone. Ces matériaux présentent des propriétés mécaniques supérieures à celles des métaux mais sont beaucoup plus coûteux. Ils sont utilisés sur les véhicules de compétition ou sur des sportives de prestige.

CONCLUSION Vers la voiture multicomposant

Confortablement installé, l'acier peut regarder venir ses concurrents avec sérénité. Grâce aux progrès de la métallurgie, il conserve une bonne longueur d'avance sur les autres matériaux quand il s'agit de trouver le meilleur équilibre entre résistance, poids et coût. Pour répondre à la demande constante d'allègement dans le but de diminuer la consommation, et donc les émissions de CO₂, les constructeurs sont contraints d'ouvrir la porte à des composants plus légers, mais en traînant les pieds pour des raisons économiques évidentes. Il est donc probable que se généraliseront, dans l'avenir, des voitures "multicomposant", alliant une infrastructure en acier (la plateforme), une superstructure en alliage léger et un habillage en composite. Des matériaux dont les proportions varieront en fonction de la position du véhicule dans la gamme. Plus il sera cher, plus il sera léger... et inversement.