

Le colloque « Chimie et automobile » de la Maison de la chimie

Élisabeth Stibbe* docteur en chimie

Summary : *Chemistry in the car industry*

The conference organized by la Fondation de la Maison de la Chimie showed some of the numerous applications of chemistry in the car industry : in vehicle technology, fuels, lubricants, fuel cells for electrochemical energy conversion... all depending on environmental legislation.

Mots clés : *matériaux, catalyse, carburants, lubrifiants, piles à combustible.*

Key-words : *materials, catalysis, fuels, lubricants, fuel cells.*

Le colloque « Chimie et automobile », organisé par la Fondation de la Maison de la Chimie, à Paris, le 18 avril 1997, a rassemblé environ 300 spécialistes des disciplines concernées. Comme au mot automobile on associe spontanément celui de mécanique, il fallait rendre justice au rôle croissant joué par la chimie dans de nombreux domaines : matériaux, catalyse, carburants, lubrifiants, piles à combustible... le tout devant répondre aux normes de plus en plus sévères liées à la protection de l'environnement.

A raison de 1,2 tonne de matériaux par véhicule et pour une production annuelle mondiale de 50 millions d'unités, l'automobile représente l'un des plus gros débouchés de l'industrie chimique. Les grandes familles de matériaux sont représentées dans un véhicule : métaux, polymères, céramiques et verres. Les associations entre ces éléments constituent les composites. Actuellement, les matériaux métalliques représentent encore 75 % du poids d'une automobile. Les plastiques et les composites comptent pour environ 15 % ; quant aux céramiques, on n'en trouve qu'au niveau des bougies et du pot catalytique. A cela il faut ajouter les élastomères, les colles, les peintures et divers adjuvants... autant de produits issus de l'industrie chimique.

Les matériaux de base

Le constructeur choisit un matériau non seulement pour ses propriétés

intrinsèques, mais aussi en fonction des moyens nécessaires pour sa transformation : la fabrication des pièces doit répondre à un cahier des charges précis. Comme le savoir-faire de l'automobile est encore axé sur la transformation de l'acier, les travaux portent surtout sur l'amélioration des matériaux conventionnels et sur l'optimisation des procédés. En effet, il n'est pas facile de changer de technologie dans une chaîne produisant un véhicule par minute.

L'évolution de la demande du consommateur associée à un durcissement de la réglementation en matière de sécurité et de contrôle de la pollution a conduit à une élévation des niveaux d'équipement : systèmes de sécurité (ceintures, airbags, renforts de structure permettant une absorption optimale de l'énergie lors d'un choc), systèmes de dépollution (pot catalytique), matériel de confort (climatiseur...). Cela se traduit par une augmentation du poids du véhicule responsable d'une hausse de sa consommation. L'allègement est donc une préoccupation majeure pour les constructeurs. De grands progrès ont

été obtenus avec la mise au point d'aciers à haute limite d'élasticité, mais une étude effectuée dans le cadre d'un programme de recherche européen a mis en évidence la nécessité de s'orienter vers des matériaux de faible densité, comme l'aluminium ou les composites, pour aboutir à la conception d'automobiles multimatériaux, c'est-à-dire comprenant des structures mixtes. Sur le plan pratique, une telle orientation implique une véritable rupture technologique au niveau des matériaux, associée à une révolution de l'architecture automobile. Son application suppose donc d'investir dans un outil industriel entièrement nouveau.

Les pneumatiques

Autre domaine d'application des matériaux : le pneumatique, qui doit garantir à l'utilisateur un certain nombre de performances parfois antinomiques. Par exemple, au niveau de la sécurité interviennent l'adhérence, importante pour le freinage et la tenue de route, et l'endurance. L'usure intéresse le

* Maison de la Chimie, 28, rue Saint-Dominique, 75341 Paris cedex 07. Tél. : 01.40.62.27.00. Fax. : 01.47.05.15.33.

consommateur peu enclin à changer ses pneumatiques, le confort également, mais aussi la résistance au roulement et ses répercussions sur la consommation. A ces facteurs s'ajoute désormais l'esthétique avec l'apparition des pneus de couleur. Toutes ces performances dépendent de la nature et des propriétés physico-chimiques des matériaux utilisés.

Le pneumatique résulte de l'assemblage à cru de différents éléments, suivi de la cuisson dans un moule. Les produits intervenant dans la fabrication sont des mélanges (élastomères, charges renforçantes, auxiliaires de formulation), des tissus textiles et des tissus métalliques. La maîtrise des interfaces entre ces différents éléments est capitale pour les performances du pneumatique. Le caoutchouc naturel (polyisoprène) est encore un constituant primordial car il possède des qualités physico-chimiques que n'ont pas les élastomères de synthèse comme, par exemple, la propriété de cristalliser sous tension. D'autres élastomères sont utilisés, notamment des copolymères tels que le copolymère isobutylène-isoprène utilisé pour les chambres à air, ou le copolymère butadiène-styrène employé dans différentes parties du pneumatique. Aux élastomères s'ajoutent des charges renforçantes (noir de carbone, silice) et des auxiliaires de formulation. En effet, le pneumatique est soumis à des contraintes thermo-mécaniques, à l'action de la lumière, à la dégradation par l'ozone. Il est donc nécessaire d'inclure dans la formulation des anti-oxydants et des anti-ozonants. On notera le problème particulier des pneus de couleur pour lesquels il faut ajouter un produit anti-UV car ils ne contiennent pas de noir de carbone, bon absorbant des rayons ultraviolets.

L'endurance doit beaucoup à l'utilisation de fils d'acier laitonné comme renforts. De la qualité de l'interface entre la gomme et l'assemblage métallique dépendent les propriétés du pneumatique. Cet enjeu se retrouve au niveau de l'adhésion entre le mélange et les tissus textiles utilisés pour la carcasse : le système d'encollage résorcinol-formaldéhyde-latex permet l'établissement de liaisons chimiques entre les élastomères et le tissu par une vulcanisation lors de la cuisson. La vul-

canisation est donc l'étape clé de la fabrication du pneumatique dont elle conditionne les performances.

Les lubrifiants

L'automobiliste sait que le lubrifiant est indispensable au bon fonctionnement du moteur. Il apprécie de voir s'allonger les intervalles de vidange qui sont désormais de plusieurs milliers de kilomètres. Mais réalise-t-il que cette amélioration de la qualité des lubrifiants est l'œuvre des chimistes, qui ont su mettre au point une formulation répondant à de nombreux critères, techniques et économiques?

A chaque type de motorisation (essence, diesel...) correspond un lubrifiant spécifique, mélange complexe de différents produits issus de la chimie. Le composant principal est une huile de base, d'origine minérale ou synthétique comme les poly- α -oléfinés, à laquelle s'ajoutent différents additifs apportant des propriétés particulières au produit. Le lubrifiant est défini par des caractéristiques physico-chimiques comme la pompabilité, la volatilité ou l'inflammabilité, et par des caractéristiques de performance : stabilité thermique, stabilité à l'oxydation... Le paramètre le plus important est l'indice de viscosité, qui reflète l'évolution de la viscosité avec la température. Il est en effet important que le lubrifiant soit fluide à froid pour lubrifier les pièces au démarrage, et visqueux à chaud pour assurer son rôle de film protecteur. C'est pourquoi on utilise un additif polymère dont les chaînes sont repliées à basse température, la viscosité du lubrifiant est alors faible, et se déploie à chaud : la viscosité du lubrifiant augmente. D'autres additifs sont employés, appelés additifs de performance : détergents, dispersants, antiusure, anticorrosion, antimousse, antioxydant... plus d'une dizaine d'agents de structures chimiques très différentes sont ainsi ajoutés à la base. La formulation est donc un exercice compliqué : choix d'une base ayant un bon pouvoir solvant, choix des additifs selon leur compatibilité et les performances recherchées, le tout devant être validé par une série d'essais moteurs longs et coûteux. C'est pourquoi les lubrifiants automobiles sont des pro-

duits de haute technologie devant répondre aux contraintes imposées par les constructeurs qui ont dû développer des technologies moteurs adaptées aux normes de plus en plus sévères liées à la protection de l'environnement.

La lutte contre la pollution

En effet, le transport routier est largement impliqué dans la dégradation de la qualité de l'air, même s'il n'en est pas le seul responsable. Trois niveaux d'action sont proposés pour lutter contre la pollution engendrée par la circulation automobile : mettre au point des systèmes de dépollution performants, améliorer la qualité des carburants ou passer à une autre technologie, non génératrice d'émissions polluantes.

Les principaux polluants actuellement réglementés dans l'Union européenne sont : le monoxyde de carbone (CO), les oxydes d'azote (NO_x), les hydrocarbures imbrûlés (HC) et les particules diesel. Dans le cas des moteurs à essence, les pots catalytiques dits « trois voies » (élimination de CO, NO_x, HC) sont implantés en France sur tous les véhicules neufs depuis 1993. Les phases actives sont des métaux précieux dispersés sur un support cérine-alumine, lui-même déposé sur un support de type monolithe en céramique ou en métal.

Un tel système assure l'élimination à 95 % des trois polluants par oxydation de CO et HC en CO₂ et H₂O sur Pt ou Pd, et réduction des NO_x en azote sur Rh. Certains points doivent être améliorés : augmentation de la durée de vie du pot en trouvant des phases plus stables, recherche de phases actives de substitution pour remplacer les métaux précieux, amélioration de l'efficacité à basse température. En effet, le pot catalytique n'est efficace qu'à partir de 300 °C, température qu'il n'atteint qu'après plusieurs minutes de fonctionnement : les gaz d'échappement au démarrage ne sont donc pas dépollués.

Le moteur Diesel est peu polluant en CO et HC. Le problème réside au niveau des NO_x pour lesquels il n'existe pas de système d'élimination efficace, et au niveau des particules constituées d'un noyau de graphite et de composés hydrocarbonés adsorbés. La fraction

organique soluble des particules est éliminée par un pot d'oxydation, implanté depuis 1996 sur tous les véhicules légers, auquel doit être associé un filtre assurant le piégeage de la suie. La mise au point de filtres régénérables est en cours d'étude, les recherches s'orientant vers la régénération catalytique.

Il faut noter que l'effet sur l'amélioration de la qualité de l'air ne se fera sentir qu'au fur et à mesure du renouvellement du parc automobile : actuellement, les véhicules à essence non catalysés représentent encore les deux tiers du parc. Il est donc évident que l'évolution de la technologie automobile doit être complétée par d'autres axes d'action.

C'est pourquoi l'impact de la reformulation des carburants sur la composition des émissions polluantes et par conséquent sur la qualité de l'air a été évalué lors d'une étude menée à l'échelle européenne dans le cadre du programme « auto oil ». Les résultats obtenus montrent qu'il est possible de réduire considérablement les rejets en modifiant la qualité des carburants (addition de composés oxygénés, réduction des aromatiques et du soufre), et cela avec un effet immédiat sur l'ensemble du parc. Aux États-Unis, où ces nouveaux carburants sont déjà utilisés, l'Agence pour la Protection de l'Environnement a montré que l'adoption de l'essence reformulée représente un effet équivalent à la mise au rebut de

7 millions de véhicules.

Les problèmes de pollution associés au besoin de nouvelles sources d'énergie ont amené les constructeurs à s'intéresser aux véhicules électriques qui présentent l'avantage d'être non-polluants, sur le plan chimique comme sur le plan acoustique. Si le véhicule à batterie ne s'avère pour l'instant pas compétitif par rapport aux automobiles thermiques en raison de ses handicaps (long temps de recharge, faible autonomie), le véhicule à pile à combustible semble promis à un bel avenir. Le principe en a été découvert au siècle dernier à partir de l'observation de la réversibilité de l'électrolyse de l'eau, c'est-à-dire de la possibilité de produire de l'électricité en consommant de l'oxygène et de l'hydrogène. La cellule électrochimique est constituée de deux électrodes (carbone recouvert de platine pour catalyser l'oxydation de l'hydrogène à l'anode et la réduction de l'oxygène à la cathode), et d'un électrolyte. Différentes technologies existent ; la seule qui soit pour l'instant applicable à l'automobile est celle mettant en œuvre un électrolyte solide constitué d'une membrane polymère échangeuse d'ions (Nafion). L'assemblage de cellules séparées les unes des autres par des plaques bipolaires de graphite constitue la pile.

L'oxygène est issu de l'atmosphère. L'hydrogène peut provenir d'hydrocarbures (essence, gaz naturel) ou de

méthanol. Ce procédé suppose d'inclure au système une unité de reformage, mais il présente l'avantage d'utiliser les infrastructures de distribution actuelles. L'emploi direct de l'hydrogène comme carburant est envisagé, avec les problèmes de stockage et de distribution qu'une telle option implique.

La faisabilité technique du procédé est démontrée mais le problème réside dans les coûts qui lui sont associés : celui de la membrane protonique, celui des plaques bipolaires, celui du platine utilisé comme catalyseur. Il est toutefois probable que la pile à combustible deviendra un concurrent sérieux des moteurs thermiques en termes de puissance et d'autonomie, et cela avec de la vapeur d'eau pour seul rejet.

Conclusion

Grâce aux progrès apportés par la chimie, les voitures sont plus sûres, plus confortables et moins polluantes. Les thèmes abordés dans ce colloque ont permis de faire le point sur les problèmes rencontrés et les solutions proposées : dans le cadre d'une évolution continue, avec l'optimisation des procédés de fabrication, l'amélioration des systèmes de dépollution, la reformulation des carburants, ou selon un scénario de rupture technologique, avec les multimatériaux et l'électrotraction.