

SPÉCIAL AUTO



PRATIQUE

Les vrais comptes
du bonus-malus p.72

LABOS

Les carburants du futur p.48



HYBRIDE, ÉLECTRIQUE, MOTEUR BASSE CONSOMMATION...

Choisissez votre voiture

A l'heure du pétrole cher, les recherches se multiplient pour des véhicules écologiques et économes.



POLÉMIQUE

La vérité sur les hybrides p.26



DOSSIER

L'avènement
du tout-
électrique p. 12

TEST

Economisez
25% de
carburant p. 74



VENTI BUDP/ANDIA/BICS/MAYPPP

M 02597 - 154 H - F: 4.20 € - RD





Avec DolceVita, je ne choisis plus entre mon confort et celui de la planète. Et si c'était ça le confort absolu ?

Confort Solaire DolceVita. En associant le gaz naturel à l'énergie solaire, vous bénéficiez d'une eau chaude plus économique et vous respectez l'environnement. Les Experts Solaire Gaz de France vous conseillent sur les solutions adaptées, vous informent sur les aides financières, et vous accompagnent, avec nos Partenaires DolceVita, tout au long de la mise en œuvre de votre projet. Pour bénéficier de ce service, appelez la **Ligne Solaire DolceVita** au **0 810 124 125** (prix d'un appel local depuis un fixe). L'énergie est notre avenir, économisons-la ! www.dolcevita.gazdefrance.fr

Une énergie nouvelle entre nous



Sommaire

Electrique:
le grand retour
p. 12



La revanche de l'aéromobile p.62



Les comptes du bonus/malus p. 72



La vérité sur les hybrides p. 26



Les
carburants
ont-ils un
futur? p. 48

5 **ÉDITO**
Vive le pétrole cher !

6 **ENJEUX**
Energie : la fin de
la pensée unique

L'AVÈNEMENT ÉLECTRIQUE

12 Electrique :
le grand retour

19 Batteries :
le courant passe mieux

22 Venturi,
concepteur d'ovnis

24 **VITE DIT**

26 La vérité sur les hybrides

30 **CHINE, INDE**
Révolutions à l'Est

32 Hydrogène,
quelque part dans le futur

C'EST DÉJÀ DEMAIN

40 Une voiture
100 % virtuelle

44 Moteurs classiques :
de plus en plus sobres

48 Les carburants
ont-ils un futur ?

54 Le fabuleux destin
du moteur à explosion

58 **L'AUTO ET NOUS**
Avec Michel Serres,
Régis Debray,
Michel Cantal-Dupart

L'AVENIR RÊVÉ

62 La revanche
de l'aéromobile

66 La grande saga
du moteur à eau

69 Des voitures
dopées à la vapeur

72 **CONSO/PRATIQUE**
Les vrais comptes
du bonus/malus

74 **TEST**
Gagnez 25 % de carburant

76 **LIVRES**

79 **DVD**
Quarante ans de road movies

La route ne sera plus
votre seul horizon.



LE VISIOSPACE

Avez-vous déjà envisagé de voir la route autrement? Avez-vous déjà rêvé de rouler vers l'infini? Avez-vous déjà eu le sentiment que tout semblait facile à atteindre alors que tout était pourtant si loin? Si oui, vous êtes prêt à vivre une expérience inédite. Vous êtes prêt à prendre place à bord d'un Visiospace C4 Picasso. Ressentez cet incroyable sentiment de liberté derrière le pare-brise panoramique grand angle. Maîtrisez la route grâce à la Boîte Manuelle Pilotée 6 vitesses. Profitez du confort de suspension unique. Partout où vous regarderez, vous ne verrez que l'immensité.

www.citroen.fr CITROËN préfère TOTAL

Modèle présenté : C4 PICASSO HDi 110 FAP BMP6 Exclusive avec options. Consommations mixtes (en l/100 km) de C4 Picasso (normes CEE 99-100) : de 5,7 à 8,0. Émissions de CO₂ (en g/km) : de 150 à 195.



7 places



5 places

CITROËN C4
Picasso 

33, rue Vivienne 75083 Paris cedex 02
Tél. : 01.55.35.56.00.
Fax : 01.55.35.56.04.
redaction@sciences-et-avenir.com

Directrice de la rédaction

Dominique LEGLU 56.02

Rédactrice en chef Aline KINER 56.42**Secrétaire de rédaction**

Florence LEROY 56.36

Directeur artistique

Jean-Louis GILBERT 56.38

Photo-iconographie Andreina DE BEI

(chef de service) 56.31

assistée de Judith WESCH

Documentation Isabelle DO O'GOMES

(chef de service) 56.49

Illustration Betty LAFON 56.37**Photogravure** Karine HUET 56.25**Collaborateurs** : Yves BLANC, Loïc CHAUVEAU,

Olivier HERTEL, Azar KHALATBARI,

David LAROUSSE, Henri-Pierre PENEL,

Hervé PONCHELET, Elena SENDER

Ont collaboré à ce numéro : Subhash AGRAWAL,

Séverine BARDON, Eric BERGEROLLE,

Alice BOMBOY, Jean-Pierre LENTIN

Renseignements aux lecteurs, vente au numéro

Isabelle PAJAU 01.55.35.56.50/56.30.

courrier-lecteurs@sciences-et-avenir.com

Informatique : Christian DAO DUC 56.06**Gestion** : Agnès LE BOUCHER 56.16**Comptabilité** : Marie-Claude BOUDET 56.12,

Tania MINISTRO 56.14, Patrice PAIN 56.13

Assistante de direction

Valérie PELLETIER 56.01

Abonnements :**01.40.26.86.11**

142, rue Montmartre, 75002 Paris

Publicité Régie Obs. 142, rue Montmartre

75002 Paris Tél. : 01.40.13.63.90.

Fax : 01.40.13.64.17.

Directrice générale Anne de POTIER 63.92

assistée de Sandrine NGUYEN 63.93

Fax : 01.40.13.63.94

Directeurs commerciaux Laurent ALLÈGRE

64.16, Sophie GADONNEIX 63.95,

Line GASPARINI 64.18

Directrices de la publicité Virginie WOLFF 64.20,

Mélina MANTION 64.01

Directeur de la publicité internationale

et régionale Nicolas GRIVON 64.06

Directrice de la publicité Internet

Sophie ANTOINE 64.04

Directrice marketing opérationnel/**communication** Cécile FICHET 64.11 / Annie

TETARD (64.52)

Directrice marketing-études

Pascale LUCA 64.70

Directrice du planning Agnès LAFOND 64.12**Exécution** Sophie LE BRAZ 64.08.**Ventes****Directeur commercial**

Jean-Claude ROSSIGNOL 01.44.88.35.40

Directrice commerciale adjointe

Paule COUDERAT 01.44.88.34.55

Directeur des ventes Valéry SOURIEAU**Directeur des abonnements** Philippe MENAT

01.44.88.35.02 assisté de Lina QUACH 34.54

Relations extérieures

France ROQUE 01.44.88.35.79

Sciences et Avenir SARL**Gérance** : Claude PERDRIEL**Directeur de la publication** : Claude PERDRIEL

Vente au numéro, 33, rue Vivienne, 75002 Paris.

Tél. : 01.55.35.56.00. Fax 01.55.35.56.04. Les

abonnements et réabonnements doivent être

adressés à Sciences et Avenir, Service abon-

nements, 142, rue Montmartre, 75002 Paris. Tél. :

01.40.26.86.11. Tarif des abonnements : France,

1 an simple (12 numéros) : 35 €. 1 an complet

(12 numéros + 4 hors-série) : 48 €. Tarifs pour les

pays étrangers sur demande.

Multimédia : ID OBS, 10-12, place de la Bourse,

75002 Paris. Tél. : 01.44.88.34.34.

Les noms et adresses de nos abonnés seront

communiqués aux organismes liés contractuelle-

ment avec Sciences et Avenir, sauf opposition.

Dans ce cas, la communication sera limitée au

service de l'abonnement.

Copyright Sciences et Avenir.

Commission paritaire n° 55491.

Distribué par NMPP.

Photogravure :

PCH, 10-12, place de la Bourse 75002.

Dépôt légal : 562. Imprimerie : Sego, Taverny.

Printed in France.

Edito



GILLES COULON/TENDANCE FLOUE

Vive le pétrole cher !

Ils sont de plus en plus nombreux à le clamer, même si l'idée peut sembler simpliste. Experts en environnement, mais aussi économistes. Le pétrole cher est un luxe, bien sûr, qui rend la vie difficile au quotidien. Un luxe, et pourtant une nécessité. Pour la planète. Pour nos enfants. Car le pétrole cher, cela signifie qu'on s'intéresse enfin aux technologies alternatives – des technologies accessibles à tous. « On », ce sont les industriels. Ceux qui ont les moyens d'investir lourdement sur un marché où rien ne peut se faire sans eux.

Voitures tout électriques, hybrides, économes : elles sont aujourd'hui partout à l'affiche. Le dérèglement climatique lié aux émissions de gaz à effet de serre leur a donné un coup de pouce supplémentaire. Mais attention aux effets d'annonce. Aux produits couleur « vert marketing », comme les biocarburants, aujourd'hui accusés d'affamer et de polluer les pays en développement. Ou les hybrides, pas si propres qu'on le prétend.

Comment faire le tri ? Vous y aider, c'est l'ambition de cette nouvelle formule des Hors-Série de *Sciences et Avenir*. Pour ce premier numéro, nous avons choisi le sujet de la voiture propre, parce qu'il est un concentré des enjeux scientifiques d'aujourd'hui. La voiture est science, innovations technologiques, elle est avenir. Mais cette science et cet avenir sont inextricablement liés à des décisions économiques, politiques, à une gouvernance mondiale au-delà des lobbies et des intérêts particuliers. Pour imaginer son futur, il faut sortir la tête de dessous le capot.

On verra peut-être alors que l'urgence n'est pas seulement économique, stratégique, ou écologique. Elle est aussi... urgente. Car bientôt, il n'y aura plus de pétrole. Dans trente, quarante ans au plus. Demain.

ALINE KINER, RÉDACTRICE EN CHEF

Energie: la fin de la pensée unique

A l'heure du pétrole cher et de la lutte contre les gaz à effet de serre, l'industrie automobile se voit contrainte à innover. Et multiplie les filières alternatives.

Serait-ce la mort programmée du bon vieux moteur thermique? Après un siècle de règne sans partage, entendrions-nous ses derniers hoquets? Serions-nous enfin arrivés à cette fameuse rupture technologique qu'on nous promettait déjà en 1973, lors du premier choc pétrolier, en 1979 lors du second, et régulièrement, à chaque hausse du pétrole, à chaque crise stratégique avec les pays producteurs?

Les annonces se succèdent. Renault va déployer des voitures électriques sur les routes d'Israël en 2011, Mitsubishi sur celles du Japon dès 2009, La Poste lance un appel d'offres européen avec un objectif de 10 000 véhi-

cules électriques d'ici 5 ans, Johnson Controls et Saft viennent d'inaugurer la première usine mondiale de piles au lithium pour l'automobile en France, Mercedes confirme le lancement de sa Classe B à hydrogène pour 2010. Sans compter les nouveaux hybrides: rien moins qu'une douzaine de modèles présentés lors du dernier salon de Genève, en mars dernier.

Qu'est-ce qui a changé? Le prix du pétrole, bien sûr, n'a jamais atteint de tels sommets. Au-dessus de 100 dollars depuis plusieurs mois. Sans beaucoup d'espoir qu'il redescende. Car, tandis que l'offre se raréfie, la demande ne cesse d'augmenter, notamment du côté des

1973-2008: 35 ans de secousses pétrolières



SAUSSIER-VAN DER STOCK/GAMMA/EYEDea

1991: la guerre du Golfe et la dissolution de l'URSS entraînent des inquiétudes sur l'approvisionnement.



RUE DES ARCHIVES/AGIP

1973: 1^{er} choc pétrolier après la guerre de Kippour entre Israël et ses voisins arabes. Le prix du baril est multiplié par près de cinq.

1981: première journée sans voiture en Allemagne.



ROGER-VOLLET

1979: 2^e choc pétrolier dû à la guerre Iran-Irak. Les exportations de ces pays baissent drastiquement.

1988: création du Giec, Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat.

Prix du baril au 1^{er} janvier 1973
2,65 \$

11 \$

40 \$

18 \$

9 \$

35 \$

1973 1975 1977 1979 1981 1983 1985 1987 1989 1991

pays émergents: l'Inde, et la Chine, devenue deuxième marché mondial derrière les Etats-Unis (*lire p. 30*). Et plus le pétrole pèse lourd dans la balance, plus les énergies alternatives se font légères, rentables.

Autre défi, nouveau par rapport aux années 1970: la lutte contre les gaz à effet de serre, en particulier les rejets massifs de dioxyde de carbone responsable du dérèglement climatique. Au XIX^e siècle, sa concentration dans l'atmosphère était d'environ 280 parties par millions (ppm). Aujourd'hui, elle est de 380. Si l'on n'agit pas, elle doublera d'ici la fin du siècle. Et la part des transports – un quart de ces émissions – ne cesse d'augmenter. Face à cette situation d'urgence, les directives internationales se font plus contraignantes. Pour respecter le protocole de Kyoto, la Commission européenne a décidé de «brider» nos voitures à 160 g d'émission de CO₂/km, mais elle bataille ferme pour imposer aux constructeurs un objectif plus bas encore: 120 g de CO₂/km pour 2012!

Coup de pouce supplémentaire: des mesures incitatives ou répressives, telle l'instauration du bonus-malus (*lire pp. 72-73*) en janvier 2008, qui a dopé les ventes de voitures économes. Les immatriculations des véhicules dont les émissions de CO₂ sont supérieures à 200 g au kilomètre se sont effondrées en janvier avec -71 % pour la tranche 201/250 g et -74,8 % pour les

plus de 250 g. Il faut aussi dire que tous les acquéreurs de voitures à fortes émissions avaient précipité leurs achats avant la fin de l'année 2007 !

Pris en étau entre contraintes énergétiques et écologiques, il a bien fallu que les constructeurs réagissent. Car on ne peut pas dire que le secteur fasse spontanément preuve d'une grande audace. Pierre Beuzit, directeur de la recherche de Renault en 1999, le disait déjà (1): la voiture n'a finalement pas tant changé depuis un siècle. Les constructeurs se sont surtout focalisés sur sa «popularisation», production de masse et amélioration de la fiabilité. Malgré son poids économique, «l'industrie automobile génère[e] peu de technologies. Nous utilis[ons] celles des autres secteurs, sans être réellement des promoteurs». C'est notamment le cas pour les matériaux, récupérés dans l'aérospatial.

La première réaction des constructeurs a été de travailler sur des moteurs thermiques plus économes. Réduction des cylindrées, meilleur dosage de l'injection des carburants: la chasse au gaspi était lancée (*lire pp. 74-75*). Mais elle a ses limites... qui sont celles des lois de la thermodynamique: les moteurs diesels les plus efficaces ont bien du mal à dépasser un rendement de 40 %, contre plus de 95 % pour les électriques. Seconde réaction: développer des hybrides qui combinent moteurs thermique ●●●



1992: sommet de la Terre à Rio. Convention cadre des Nations unies sur les changements climatiques.

1997: le protocole de Kyoto engage les pays signataires à réduire les émissions de gaz à effet de serre de 5,2 % en moyenne par rapport au niveau de 1990.

1993: le pot catalytique, qui vise à transformer les gaz nocifs en gaz neutres, est obligatoire sur toutes les voitures neuves en France.

2000: suppression du plomb dans l'essence.



2008: à Londres, le péage instauré en 2002 dans le centre ville augmente pour les véhicules les plus polluants.



2007: Al Gore et le Giec sont prix Nobel de la Paix. Instauration en France du dispositif de bonus-malus.

111 \$
le 17 mars 2008

108 \$
le 9 avril 2008

72 \$

32 \$

14 \$

12 \$

1993

1995

1997

1999

2001

2003

2005

2007

2008

Pétrole : des réserves pour 40 ans à peine

Pour quand la fin du pétrole ? Difficile à dire, mais deux choses sont sûres. Elle se produira, car le pétrole n'est pas une énergie renouvelable. Et cela ne se fera pas à la façon d'un robinet qui s'arrête brutalement de couler. En fait, l'évolution de la production pétrolière (d'un puits unique ou d'un pays entier) suit une courbe en cloche avec une croissance, puis un pic, et enfin une décrue : le tout courant sur 30 à 100 ans. La position de ce pic dans le temps marque généralement le début de ce qu'on appelle la fin du pétrole. D'importants champs américains ou offshore en Europe du Nord ont déjà atteint ce pic et donc commencé de décroître. Mais au niveau mondial, les prévisions sur le début de la décroissance sont légion. Elles varient de 2010-2015 à 2020-2030, voire plus (les compagnies pétrolières refusent en général de rentrer dans ce jeu des prédictions). Pour sa part, l'Agence internationale de l'énergie table sur une quarantaine d'années de réserves. Au contraire, l'association écologiste allemande

Energy Watch Group a conclu en octobre 2007 que la phase décroissante avait déjà commencé...

Combien a-t-on de réserves ? Il y a plusieurs types de réserves, les unes prouvées, d'autres probables (exploitables en fonction des futures conditions économiques et techniques), d'autres, enfin, possibles (encore moins sûres parce que difficiles à exploiter). On appelle « réserves » un dosage de

Les données des producteurs ne sont pas transparentes

ces trois probabilités. L'Agence internationale de l'énergie estime que fin 2005, il y avait 1293 milliards de barils de réserves. Mais EWG pense qu'elles sont plutôt de l'ordre de 850 milliards : soit 50 % d'écart ! C'est que les chiffres officiels sont fournis par les pays producteurs et les exploitants. Ces données, économiquement sensibles, ne sont donc pas transparentes. L'estimation haute correspond à une quarantaine d'années de

consommation au rythme actuel, soit 30 milliards de barils par an environ !

Où sont les réserves ? Le Moyen-Orient est loin devant le reste du monde (50 % environ du total). Ensuite arrivent la Russie, l'Amérique latine et l'Afrique, au coude à coude.

Ne peut-on pas augmenter la production ? C'est possible, mais coûteux. Les producteurs peuvent

augmenter les quantités extraites, qui souvent ne dépassent pas 50 % de la taille du réservoir géologique, en innovant dans l'exploitation. On peut aussi découvrir et exploiter des champs moins accessibles, comme au large des côtes africaines ou américaines. Ou utiliser des huiles très visqueuses comme celles que l'on a découvertes au Venezuela ou dans les sables du Canada. Il existe aussi des réserves dans des schistes bitumineux, mélange de

roches et de brut pas totalement « mûr », aux Etats-Unis ou en Russie. Ce sont les prix du brut qui arbitreront de plus en plus entre tous ces choix. Car toutes ces huiles sont chères à extraire et transformer, et ne deviennent rentables que si le coût du baril flambe.

Pourquoi les prix montent-ils ? Le prix du pétrole n'est pas lié seulement aux données géologiques ou industrielles, qui le poussent à la hausse. Il ne dépend pas non plus des échéances à long terme comme l'estimation des réserves (qui joue plutôt sur les cours des compagnies en Bourse). A court terme, ce sont les questions géopolitiques qui comptent. A l'avenir, il faudra peut-être aussi tenir compte d'un autre facteur, la fiscalité. En France, les taxes représentent environ deux tiers du prix de l'essence. Cette marge de manœuvre pourrait être exploitée pour amortir les hausses du prix du brut ou, au contraire, alourdir encore la facture, pour soutenir des politiques de lutte contre l'effet de serre, par exemple.

DAVID LAROUSSE





L. ALUPPY/GETTY IMAGES

●●● et électrique. Les Américains ont travaillé sur cette technologie dans les années 1970, mais ils ont laissé Toyota la lancer. Résultat: la Prius s'est imposée au monde comme « la » norme de la voiture propre. Certains scientifiques s'en alarment (*lire pp. 26-29*), dénonçant une stratégie marketing mensongère.

Parallèlement, les laboratoires de recherche travaillent sur des carburants « propres » pour remplacer l'essence et le gazole. Les biocarburants, labellisés verts par l'industrie agricole, sont aujourd'hui sévèrement critiqués (*lire p. 49*). D'autres filières semblent plus prometteuses, comme la valorisation des déchets en gaz. Ou la fabrication de carburants de synthèse à partir de biomasse issus de déchets agricoles ou de... termites (*lire p. 53*).

Mais la rupture, la vraie, serait le moteur électrique. Grâce aux progrès réalisés sur les batteries, avec notamment la nouvelle filière au lithium (*lire pp. 9-11*), son autonomie et sa puissance augmentent, son temps de recharge diminue. Alors que des précurseurs comme Nicolas Hayek, concepteur de la Smart – qu'il voulait électrique – se sont autrefois cassé les dents lors de leurs négociations avec les constructeurs, aujourd'hui tous les grands, ou presque, s'y mettent. S'associant parfois aux petits, novateurs, qui les ont précédés. Tel PSA Peugeot Citroën qui vient de faire alliance avec Venturi pour le marché de La Poste (*lire pp. 12-18*).

Pour l'instant, la filière privilégie surtout les citadines, avec des autonomies de 200 kilomètres en moyenne. Loin des 1000 que peut garantir un moteur diesel! Mais en 2007, deux tiers des déplacements en France représentaient moins de 50 kilomètres. Pour certains, le modèle futuriste par excellence serait « l'auto-service » (*lire page 42*): on paierait sa voiture le temps

d'un usage, ce qui laisserait la possibilité de « zapper », d'une petite urbaine électrique à une berline économe, voire à un TGV pour les longs trajets. Séduisant, mais réservé aux habitants des grandes villes, bien desservies en transports en commun.

Reste la voie de l'hydrogène: promise depuis des décennies, la pile à combustible ne fonctionne toujours que sur des prototypes hors de prix. Mercedes prévoirait d'ailleurs de louer sa future Classe B, tant elle serait chère à l'achat.

Alors, vraie rupture ou effets d'annonce? Une chose est sûre: les recherches prennent toutes les directions. Nous voilà arrivés à une période de basculement, au

bout d'un système où dominait, en matière d'énergie, la pensée unique. Mais le risque, c'est que les investissements – et les intelligences – s'éparpillent. Or il faudra au moins 50 ans et des milliards de dollars pour mettre en place un nouvel outil industriel, un réseau

de distribution, de maintenance. Pour renouveler le parc essence et diesel.

Le nombre de pays impliqués, d'acteurs, de centres de décision ne cesse de croître. « *Il faudrait repenser les choses à l'envers, dit l'économiste Jean-Jacques Charnon (lire p. 28). Ne pas laisser les lobbies pousser au développement de technologies seulement en fonction de leurs intérêts. Mais parvenir à un consensus mondial sur les objectifs assignés au transport individuel. Et repartir de ces objectifs pour élaborer des solutions techniques appropriées.* »

Pieux souhait. La voiture rêvée du futur serait une voiture vraiment propre, roulant à l'énergie renouvelable. Solaire par exemple. Mais peut-on faire de l'argent avec le soleil?

ALINE KINER

1. Lire *L'Usine nouvelle*, hors-série, novembre 1999.

REPÈRES

● **850 millions de véhicules** en 2007 dans le monde, 1,6 milliard prévus en 2030

● **De 1970 à 2004**, les émissions de gaz à effet de serre dues à l'homme ont augmenté de 70 %

● **En France**, la part du transport dans les émissions de gaz à effet de serre est de 28 %

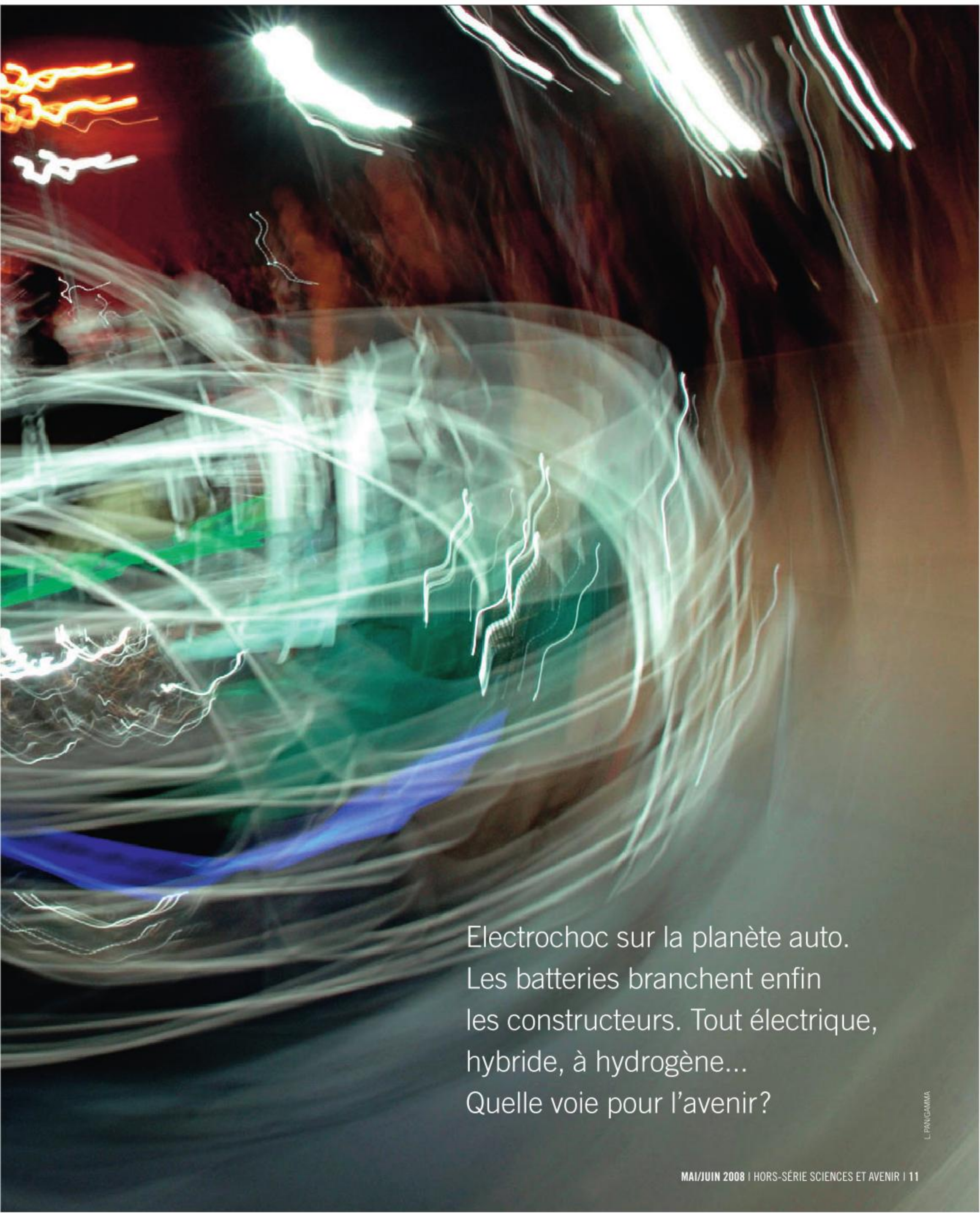
Sources : Michelin, Institut français du pétrole, Agence internationale de l'Énergie

Il faut 50 ans pour installer une nouvelle filière

L'avènement électrique



Concept-car
tout électrique
de la Guangzhou
Automobile
Factory.



Electrochoc sur la planète auto.
Les batteries branchent enfin
les constructeurs. Tout électrique,
hybride, à hydrogène...
Quelle voie pour l'avenir?



Électrique: le

Un peu partout dans le monde, les industriels commencent à investir dans la voiture électrique. Deviendrait-elle rentable?

Les Mitsubishi électriques au Japon dès 2009, dans le monde entier en 2010. Des Nissan électriques en 2010 aux Etats-Unis. Des Renault électriques produites en masse dès 2011 en Israël (*lire l'encadré p. 14*), 2012 en France. PSA (Peugeot-Citroën) qui reprend un programme voitures électriques. L'Américain Tesla qui lance la production de son roadster électrique. Bertrand Delanoë qui prépare un «Autolib» électrique pour Paris ! Électrique, électrique, électrique... Qu'on se le dise: aujourd'hui, inutile de parler d'automobile si l'on a rien d'électrique-ment intéressant à dire!

Du marketing écolo? Pas si sûr. Même si les constructeurs ont toujours en tête les échecs cuisants des Peugeot 106 et Citroën Saxo électriques des années 1990, il se pourrait bien que, cette fois, le contexte soit vraiment favorable.

Premier changement sensible, le pétrole. Depuis quelques mois, le prix du baril est en orbite autour des 100 dollars. Or, la croissance de la demande dans les pays émergents, en particulier la Chine et l'Inde,

ne laisse aucun espoir d'un retour à des prix raisonnables. «*Il y a encore deux ans, les constructeurs pensaient que le prix du pétrole resterait compatible avec l'utilisation de l'automobile. Aujourd'hui, ils en doutent et s'ouvrent logiquement à toutes les alternatives, dont l'électrique*», constate Cédric Lewandowski, responsable de la direction des Transports et Véhicules électriques chez EDF.

Cette flambée de l'or noir ne fait pas que des malheureux. La France, avec son mix énergétique fortement dominé par le nucléaire, dispose d'un prix du kWh très avantageux par rapport au pétrole. Conséquence: le coût en énergie d'une voiture électrique est cinq à six fois inférieur à celui d'une voiture essence ou diesel. La consommation annuelle d'un petit véhicule parcourant 8000 kilomètres serait équivalente à celle d'un chauffe-eau électrique, selon les calculs de l'Ademe. De quoi redonner le sourire aux particuliers, démoralisés par le prix du carburant à la pompe, mais aussi aux entreprises

disposant de flottes de véhicules importantes.

Zéro émission

L'autre gros atout de la voiture électrique est bien sûr son étiquette écolo. Sur la route, elle peut être estampillée «zéro émission». Elle ne rejette rien: pas de CO₂, de particules, de monoxyde de carbone ou de monoxyde d'azote. Mais il faut faire le bilan depuis la source d'énergie qui a permis de recharger les batteries jusqu'à l'usage. En France, avec une production d'électricité composée à 80 % de nucléaire et 10 % de renouvelable, ce bilan est très favorable pour le CO₂: 15 à 20 g/km contre 140 à 215 pour une voiture diesel ou essence. Reste le problème crucial et non encore résolu des déchets nucléaires... En Europe, dont environ la moitié de la production d'électricité est d'origine nucléaire ou renouvelable, le bilan des rejets de CO₂ reste intéressant: 90 à 110 g/km. Ça se dégrade à l'échelle de la planète, avec 35 % de nucléaire et de renouvelable. Les émissions de CO₂ des voitures... ●●●

De gauche à droite: la Lightning de LCC, la Think, le roadster Tesla, le concept-car Nissan Pivo 2, l'EV1 de General Motors, le concept Nissan Mixim. De la petite citadine à la voiture de sport, tout est possible avec de bonnes batteries.



grand retour ?



L'Eclectic de Venturi, bientôt commercialisée dans une version plus urbaine.

VENTURI

«Israël veut devenir indépendant vis-à-vis du pétrole»

Shai Agassi, partenaire de Renault pour le futur réseau israélien de voitures électriques, pense que son projet est transposable à tous les pays.

Le 21 janvier 2008, Carlos Ghosn, patron de Renault-Nissan, et Shai Agassi, de Project Better Place, une société américaine d'investissement créée en octobre 2007, ont signé à Jérusalem un accord inédit : Renault va produire en masse des Mégane électriques et mettre au point un système de batteries interchangeable en quelques minutes. Nissan, associé dans une joint-venture au géant de l'électronique

plutôt proposées dans des formules d'abonnement semblables à celles des téléphones mobiles, avec une forte incitation fiscale de la part de l'État hébreu. Le point avec Shai Agassi, dont la ténacité a permis de faire aboutir le projet.

Pourquoi lancer ce projet de voitures électriques aujourd'hui ?

Nous sommes en train de vivre un changement historique dans le secteur de

proviennent de sources d'énergie renouvelables. Et puis, ce pays est aussi géographiquement petit et hautement urbanisé. 90 % des Israéliens parcourent moins de 70 kilomètres par jour et, d'autre part, toutes les grandes villes sont à moins de 150 kilomètres les unes des autres. Ce qui est idéal pour l'autonomie actuelle des voitures électriques.

Est-ce que ce modèle est applicable à d'autres pays ?



JAY PREMACK

« Pour la première fois, le coût de l'énergie au kilomètre d'un véhicule électrique est passé sous celui d'un véhicule thermique »

japonais NEC, devra plancher sur ces batteries, de type lithium-ion. Tandis que, de son côté, Project Better Place va déployer en Israël un réseau de 500 000 points de charge, dont un certain nombre seront dédiés au remplacement rapide des batteries. Les utilisateurs pourront ainsi « faire le plein » sur tout le territoire en remplaçant leurs batteries vides par des pleines lors de longs trajets. Ces voitures doivent être prêtes pour 2011. Elles ne devraient pas être commercialisées comme des autos classiques, mais

l'automobile. Pour la première fois, le coût de l'énergie au kilomètre d'un véhicule électrique est passé en dessous de celui d'un véhicule thermique. Et ce, grâce à la hausse du prix du pétrole et à la baisse importante du prix des batteries les plus performantes.

Et pourquoi Israël ?

Pour plusieurs raisons : le gouvernement veut devenir indépendant vis-à-vis du pétrole et, du même coup, préserver l'environnement. Nous souhaitons d'ailleurs que l'essentiel de l'électricité

Nous sommes actuellement en discussion avec d'autres gouvernements et nous devrions bientôt annoncer de nouvelles initiatives de ce genre. Notre modèle est transposable à tous les pays, grands ou petits, développés ou en développement. Mais, pour commencer, il est plus intéressant pour les petits pays très urbanisés où le pétrole est cher et fortement taxé. Par la suite, avec des économies d'échelle, il pourra être adapté à des pays plus grands avec un prix du pétrole plus bas.

* Pdg de Project Better Place

●●● res électriques rattrapent alors celles des véhicules conventionnels.

Par contre, le « zéro émission » local reste un argument de poids pour le succès de l'électrique. Et ce, d'autant plus que la tendance est aux mesures incitatives de la part de gouvernements qui favorisent l'achat de véhicules rejetant peu ou pas de CO₂. En France, une voiture électrique bénéficie d'un bonus de 5 000 euros. A l'inverse, des mesures autoritaires sont envisagées un peu partout dans les pays riches pour bannir ou au moins réduire le trafic des véhicules thermiques des centres urbains. Dernièrement, Ken Livingstone, le maire de Londres, en pleine campagne municipale, a évoqué l'idée de tripler le péage déjà instauré à l'entrée de sa ville pour les voitures émettant plus de 225 g/km de CO₂. Dans le collimateur, les gros 4x4 très impopulaires dans les rues londoniennes. Leurs propriétaires devront déboursier pas moins de 33 € pour s'aventurer dans la capitale. Forcément, ce genre de mesures va créer des frictions avec certains constructeurs. Porsche, qui commercialise le Cayenne, un gros 4x4, a d'ailleurs déposé le 2 avril un recours en justice contre la ville. « Bien sûr, nous suivons ces changements de très près, car de plus en plus de villes, et notamment Paris, envisagent de taxer l'entrée comme à Londres ou à Milan. La Californie et les Etats du nord-est américain y pensent aussi. D'où l'importance de trouver de nouvelles solutions », explique Pierre Loing, vice-président produits chez Nissan Europe.

Premier gros client : La Poste

Taxation et bonnes pratiques écologiques devraient donc servir la cause de l'électrique, au moins en ville. Mais avant les particuliers, ce seront probablement les grandes entreprises qui se convertiront les premières. Aujourd'hui, plus aucun grand groupe, quelles que soient ses activités, ne fait l'impasse sur le « développement durable » dans sa communication. Et la voiture électrique est parfaite pour soutenir cette stratégie : certes, elle est écolo, mais surtout, avec un baril à plus de 100 dollars, elle devient éco-

nomiquement crédible, surtout si les gouvernements, grâce aux incitations fiscales, la soutiennent.

La première grosse annonce sur le sujet a d'ailleurs été faite par La Poste. En 2007, Jean-Paul Bailly, le président du groupe, lançait un appel d'offres européen pour 500 véhicules électriques, avec pour objectif final d'en acheter 10 000 sur cinq ans si l'expérience se révélait satisfaisante. Les candidats à cet appel d'offres alléchant sont nombreux. Déjà, le 20 mars, Venturi associé à PSA annonçait sa présélection pour la fourniture de Citroën Berlingo et de Peugeot Partner convertis à l'électrique. Idem pour Micro-Vett/Newteon, associés à Fiat. « *De grosses commandes simultanées peuvent permettre de lancer, sans trop de risques, une véritable industrie pour une production de masse, qui par la suite pourra répondre au marché des particuliers avec des tarifs abordables* », estime Bernard Duhem, secrétaire permanent du Programme national de recherche et d'innovation dans les transports terrestres (Predit).

D'ailleurs, la plupart des sociétés engagées dans l'électrique comptent beaucoup sur les flottes d'entreprises pour relancer l'industrie. « *On vise d'abord le marché des flottes, reconnaît Sébastien Rembauville, responsable de la commu-*

DOCUMENTAIRE

QUI A TUÉ LA VOITURE ÉLECTRIQUE ?

Ce passionnant documentaire réalisé par Chris Paine, le « Michael Moore de la voiture », est en train de devenir culte aux États-Unis. Il raconte une histoire oubliée. En 1996, General Motors met au point un véhicule électrique révolutionnaire, l'EV1 : 200 km d'autonomie, 240 km/h en vitesse de pointe, zéro émission. Des milliers de clients s'inscrivent sur les listes d'attente. Dix ans plus tard, explique Chris Paine, la convergence d'intérêts des constructeurs automobiles, de l'administration Bush et

du lobby pétrolier a raison de cette technologie prometteuse : les EV1 sont détruites, une à une, par le constructeur lui-même. La plupart des intervenants du film ont adressé une pétition, signée par des milliers d'Américains, à Arnold Schwarzenegger, gouverneur de Californie, pour lui demander de respecter ses promesses : mettre sur les routes un million de voitures électriques. **YVES BLANC**

Who Killed the Electric Car ?
C. Paine (USA, 2006), Sony. DVD disponible sur le web en import zone 1, sous-titré en français.

nication chez SVE (Société de véhicules électriques), filiale du groupe Dassault. *Ce n'est pas pour rien que nous avons réalisé l'essentiel de nos Cleanova à partir de véhicules utilitaires. La plupart sont d'ailleurs en test, entre les mains d'employés de La Poste ou d'EDF. Mais nous avons aussi implanté notre système sur des petits monospaces, type Renault Scenic, destinés aux particuliers.* »

Mais le pétrole cher et l'écologie n'expliquent qu'en partie l'emballement récent des constructeurs pour les voitures électriques. Avec l'explosion du marché des mobiles et des ordinateurs portables, l'industrie de l'électronique a boosté le développement des batteries au lithium, beaucoup plus performantes et fiables que les précédentes générations au plomb ou au nickel. Les Peugeot 106 et autres Citroën Saxo électriques équipées de batteries nickel-cadmium souffraient de défauts rédhibitoires qui leur interdisaient tout espoir de succès. Première tare, l'autonomie. Ces voitures parcouraient au mieux une soixantaine de kilomètres après une charge complète. Même l'incroyable EV1 (voir encadré ci-contre), commercialisée en 1996 par General Motors aux États-Unis, affichait un rendement limité. Optimisée au maximum pour fonctionner à l'électrique, elle avait une autonomie de 150 à 200 kilomètres, mais avec 500 à 600 kilos de batteries au plomb, puis au nickel-cadmium, et seulement deux places pour les passagers. Aujourd'hui, on obtient la même autonomie avec seulement 200 kilos de batteries au lithium ! Autre gros défaut de la précédente génération de voitures électriques : en raison du fameux effet mémoire (lire pp. 19-21), il fallait attendre que les batteries soient ●●●

La City Car, un nouveau type de véhicule encastrable conçu par les chercheurs du MIT pour les zones urbaines denses.



INTERVIEW

Hiroshi Shimizu *

«L'Eliica est la voiture électrique la plus rapide du monde»

Avec cette ultra-sportive, le chercheur japonais Hiroshi Shimizu montre qu'un véhicule électrique bien conçu peut être performant.



Huit roues motorisées et des performances dignes d'une Porsche, la pollution et le bruit en moins.

Sur le campus de l'université Keio, à une demi-heure au sud de Tokyo, elle brille d'un éclat métallisé sur fond de cerisiers en fleur. Plus de cinq mètres de long, huit roues et 100 km/h qui s'affichent au compteur après seulement quatre secondes d'accélération sur la voie goudronnée qui jouxte l'un des bâtiments. «L'Eliica (1) est la voiture électrique la plus rapide du monde : 370 km/h, record battu en 2004», explique son concepteur, le professeur Hiroshi Shimizu. Il est ravi de vous passer le volant «pour que vous sentiez vous-même l'accélération» de ce véhicule capable de rouler 300 kilomètres à 100 km/h.

Pourquoi une telle voiture ?

Parce que c'est la solution du futur. Le véhicule électrique sera bien plus performant que les voitures à essence avec moteur à combustion, contrairement à ce que tout le monde semble penser.

A condition, comme nous le montrons avec l'Eliica, de le concevoir – ou plutôt reconcevoir – dès le début, notamment au niveau de l'organisation de l'espace.

Comment avez-vous procédé pour obtenir de telles performances, en particulier d'accélération ?

Nous avons utilisé des technologies récentes, comme les batteries lithium-ion (lire p. 19), ou encore de bons aimants Néodyme-Fer (Nd-Fe) pour les moteurs que nous avons insérés – c'est un point crucial – dans chaque roue. Très importante aussi, la décision de concevoir un design totalement différent de celui d'une voiture habituelle. J'ai multiplié les roues entraînées par un moteur et créé un châssis dans lequel sont insérées toutes les batteries, une «plateforme intégrée» au centre de gravité très bas.

Votre voiture accélère plus vite qu'une Porsche 911 turbo

mais... n'est toujours pas commercialisée !

Passer du prototype à la commercialisation n'est pas facile. Alors qu'il faut 3 à 5 millions de dollars dans le premier cas, pour développer un modèle fiable, il en faut 50 à 100 millions. Mais si vous me trouvez 50 personnes prêtes à payer un million de dollars pour une Eliica (ce que coûte une Bugatti Veyron, qui a la même accélération !), ça peut marcher.

Vous visez l'ultra-luxe ?

Eliica ne deviendra compétitive que si l'on en produit 100 000 par an. Mais ce ne seront pas les fabricants actuels de voitures qui développeront tout de suite mon modèle. Ce seront de nouveaux investisseurs, qui n'ont pas peur. En France, ce pourrait être, pourquoi pas, Dassault ou Vuitton !

PROPOS RECUEILLIS PAR
DOMINIQUE LEGLU, ENVOYÉE
SPÉCIALE À TOKYO

1. Electric lithium-ion battery car.

●●● complètement vides pour les recharger. Ingérable ! Enfin, la voiture électrique des années 1990 était un «veau», en-dehors de rares modèles comme, à nouveau, l'EV1. Le manque de puissance en était même dangereux quand il s'agissait de se glisser dans la circulation sur un périphérique. Moralité : «Dans les entreprises, celui qui était puni prenait la voiture électrique», raconte Cédric Lewandowski.

Aujourd'hui, la plupart de ces défauts ont disparu. Plus besoin d'attendre une décharge complète pour refaire le plein d'une batterie au lithium. Mieux, certaines technologies autorisent des charges très rapides. «Notre concept-car Pivo2 peut être chargé à 80 % en 10 à 20 minutes seulement», indique Pierre Loing. Côté autonomie aussi, les progrès sont sensibles. La plupart des fabricants parlent de 200, voire 250 kilomètres sur des voitures de taille moyenne telles que la Blue Car de Bolloré ou la Cleanova de Dassault. Même si, selon les modes de conduite, elles doivent plutôt se situer entre 150 et 200 kilomètres, soit plus de deux fois ce qui se faisait vingt ans plus tôt. Ce niveau d'autonomie est largement suffisant pour couvrir la plupart des déplacements quotidiens. «Cela permet une utilisation urbaine et périurbaine confortable», explique Cédric Bolloré, directeur des activités industrielles du groupe Bolloré.

Industrialisation

Cette révolution dans le stockage et la restitution de l'énergie est d'ailleurs en pleine phase d'industrialisation. Le 31 janvier, Johnson Controls-Saft inaugurerait à Nersac (Gironde) la première usine mondiale de batteries lithium-ion pour l'automobile. Une semaine plus tôt, c'était BatScap, filiale de Bolloré, qui mettait en service, près de Quimper, sa première ligne de production industrielle de supercapacités, des systèmes qui collectent et restituent de fortes puissances électriques sur des temps très courts. Les supercapacités sont notamment intéressantes pour récupérer une bonne partie de l'énergie de freinage habituellement dissipée sous forme de chaleur.

Sur le plan des performances, là encore, une voiture électrique

Quatre points clés pour bien démarrer

L'architecture

Pour faire un bon véhicule électrique, on peut partir d'une voiture... thermique. C'est le choix de Dassault pour ses Cleanova, réalisées notamment sur des bases Kangoo et Scenic. Avantage: il ne faut concevoir que la chaîne de traction électrique avec sa batterie, le reste ayant déjà été éprouvé. Inconvénient: la voiture n'est pas optimisée pour l'électrique. Il faut trouver un moyen de loger les batteries, élément le plus encombrant, sans grignoter l'espace intérieur du véhicule. Sur les Cleanova, elles se trouvent sous la voiture. Venturi, lui, parvient à placer moteur et batteries sous le capot moteur. La deuxième possibilité, choisie

par Bolloré pour sa Blue Car, consiste à concevoir dès le départ une architecture spécifique pour la traction électrique, ce qui permet de bien choisir l'emplacement des batteries. Inconvénient: il faut développer une plateforme dédiée, ce qui peut coûter cher.

La motorisation

Les moteurs actuels offrent des rendements supérieurs à 95 % et des puissances importantes tout en étant très compacts. La motorisation peut être unique, par exemple pour entraîner le train avant, ou multiple, avec un moteur à l'avant et un à l'arrière. Il est même possible de placer un moteur dans chaque roue, pour

un bon équilibre des masses. Par contre, les moteurs roues sont plus exposés aux chocs et représentent une masse importante non suspendue, ce qui peut avoir un effet négatif sur le confort.

L'électronique

C'est un point essentiel de la voiture électrique. « Il faut développer une électronique de puissance capable d'encaisser les grosses quantités d'énergie qui circulent entre la batterie et le moteur », explique Jean Delsey, conseiller scientifique à l'Institut national de recherche sur les transports et leur sécurité (Inrets), à Lyon. L'électronique représente l'interface entre le conducteur et le véhicule. Elle alloue au moteur l'énergie que peut lui fournir la batterie en fonction de la demande. « Elle surveille l'état de charge de la batterie, mais aussi son fonctionnement. Une batterie est composée d'un assemblage de cellules. Elles doivent toutes délivrer la même quantité de courant au même moment, car un déséquilibre risque d'endommager la batterie, voire de la détruire », explique Dominique Breuil, de l'École d'ingénieurs en génie des systèmes industriels (EIGSI) de La Rochelle. « L'électronique gère aussi la récupération de l'énergie de freinage. Elle veille à ce que la

batterie ne reçoive pas trop d'énergie sur un temps très court », précise Jean Delsey. Dernier point, très important: l'électronique s'occupe aussi de la régulation de la température des batteries lors du fonctionnement ou de la charge. Une température anormalement élevée peut provoquer des dégazages et même une explosion.

La climatisation et le chauffage

Aujourd'hui, il ne semble pas envisageable de commercialiser une voiture sans climatisation. Malheureusement, celle-ci gaspille énormément d'énergie. « Sur une Renault Clio, une climatisation consomme 3 à 4 kW en permanence. Si l'on roule une heure, on aura consommé 3-4 kWh, soit 10 à 20 % de l'autonomie de la batterie », estime Jean Delsey. Ce qui signifie qu'une climatisation dans les embouteillages peut s'avérer catastrophique. Les constructeurs comptent sur l'arrivée de nouvelles climatisations deux fois moins gourmandes en énergie. Pour le chauffage, l'une des idées est de préchauffer l'habitacle peu de temps avant le départ, ce qui éviterait de pomper trop d'énergie sur les premiers kilomètres, surtout s'il s'agit de faire des déplacements courts.



La Cleanova est basée sur une voiture thermique alors que la BlueCar a été conçue dès le début pour l'électricité.

AFP



BOLLORÉ/DGM

moderne n'a plus rien à voir avec les modèles des années 1990. Une Kangoo Cleanova que nous avons pu essayer dans Paris, sur le périphérique et sur l'autoroute, s'avère aussi performante que sa sœur équipée d'un moteur thermique. Les reprises sont même surprenantes pour un véhicule de ce genre. Plus aucun problème pour s'introduire dans le flux d'un périphérique ou réaliser un dépassement urgent. Mieux, la conduite d'une voiture électrique est un vrai plaisir: aucun bruit, si ce n'est celui du roulage,

et une accélération quasi linéaire, sans changement de vitesse. Idéal dans les encombrements urbains. Les performances ont tellement progressé qu'il est désormais possible de concevoir des voitures de sport électriques, comme l'américaine Tesla, dont la production a démarré en mars dernier, et la Venturi Fetish conçue à Monaco (*lire pp. 22-23*). Outre-Manche, LCC (Lighting Car Company) a dévoilé une GT *so british* aux allures d' Aston Martin qui développe 700 chevaux et atteint 257 km/h. Surtout,

ce monstre est équipé d'une toute nouvelle génération de batteries fabriquées par Altairnano aux Etats-Unis, qui se rechargent en quelques minutes. La LCC pourrait parcourir 400 kilomètres après seulement 10 minutes de charge. Quant aux Japonais de l'université Keio de Tokyo, ils ont réalisé un concept-car baptisé Eliica, monté sur huit roues et capable d'atteindre les 370 km/h, une vitesse réservée, dans le monde du moteur thermique, à quelques sportives d'exception (*lire encadré p. 16*). ●●●

Après le Vélib, l'Autolib?

Seriez-vous intéressé par la voiture en libre-service dans Paris? Les municipales à peine gagnées, les enquêtes téléphoniques auprès des Parisiens sur le tant attendu projet Autolib commencent. « Combien seriez-vous prêt à payer? Pour quels déplacements?... » Les promesses de campagne de Bertrand Delanoë seront-elles exaucées? Si oui, une chose est sûre: elles le seront avec des véhicules électriques. Mais comment mettre en œuvre ce service? Les municipalités, de plus en plus nombreuses à y réfléchir, se penchent sur deux grandes solutions. La première est calquée sur le modèle Vélib: les clients prennent et déposent le véhicule à une borne. Ce qui signifie qu'il faut se rendre en transports en commun (ou par Vélib) à une station, car il y en aura moins que pour les vélos.



Expérimenté à Antibes, le concept Vu Log pourrait arriver à Paris.

Autre hypothèse: informer le client de l'emplacement du véhicule le plus proche. Ce système a été imaginé par la société Vu Log à Sophia Antipolis, près de Nice, et il est actuellement testé avec quelques véhicules à Antibes. Quand l'utilisateur réserve sa

voiture, par téléphone ou en ligne, on lui indique la plus proche, qu'il prend avec une carte électronique. Il peut aussi embarquer à tout moment dans une voiture si elle est libre et la déposer à n'importe quel emplacement. Avantage: les véhicules peuvent être

disséminés partout dans la ville. Pour éviter les problèmes de charge, les batteries sont interchangeables. Le gestionnaire du service est averti de leur état, pour éventuellement les remplacer. Vu Log s'est associé avec la société de conseil Hayek (à l'origine de la Swatch et de la Smart) et le fabricant de voitures Fam pour concevoir, d'ici la mi-2009, des véhicules spécifiques, pouvant circuler en ville et sur le périphérique. Le service devrait être basé sur un abonnement mensuel de 8 €, auquel s'ajouterait une facturation à chaque utilisation, soit 6 à 7 € pour une course moyenne de 5 kilomètres ou 30 minutes. « Cela se situe entre le coût du transport en commun et celui du taxi », explique Michèle Royoux, directrice générale de Hayek-France.

●●● L'amélioration des performances est bien sûr liée au progrès des batteries, mais aussi à celui des nouveaux moteurs. « Les dernières générations affichent des rendements supérieurs à 95 %, contre 70 sur les anciennes 106 et Saxo. Ils sont aussi beaucoup plus compacts et puissants », explique Sébastien Rembauville. Autre point essentiel, l'électronique: elle gère de façon très précise la quantité d'énergie délivrée par la batterie pour satisfaire la demande du moteur (lire l'encadré page précédente).

Encore un effort sur l'autonomie

Pourtant, malgré le contexte économique, écologique et technologique favorable, la voiture électrique reste confrontée à son éternel problème: son autonomie, même si elle s'est considérablement améliorée, ne peut rivaliser avec celle pratiquement infinie – tant qu'il y a des stations essence ... (et du pétrole!) – des voitures thermiques. A moins de recourir à l'hybride. SVE pro-

pose ainsi d'adjoindre à son moteur électrique un moteur thermique, qui sert de prolongateur d'autonomie.

Malgré les effets d'annonce, la voiture électrique telle qu'elle est conçue aujourd'hui risque donc de rester cantonnée à des marchés de niche: déplacements urbains et

périurbains, flottes d'entreprises ou de voitures en accès libre, pour lesquels il faut inventer des systèmes de commercialisation. « Nous sommes en train d'élaborer une offre commerciale pour la future Blue Car dessinée et produite par Pininfarina. Nous tablons sur un prix de location de l'ordre de 500 €/mois », confie Cédric Bolloré. « Le client ne devra pas avoir la charge de l'entretien des batteries, sinon, ça ne marchera jamais », estime-t-on chez Nissan. Outre le modèle économique, il faudra aussi s'assurer que les infrastructures suivent le mouvement. Les villes devront s'équiper de nombreux points de charge, d'autant plus que tout le monde n'a pas un garage pour brancher sa voiture pendant la nuit. Quant au Paris-Marseille en électrique, il n'y a que deux solutions: une rupture technologique dans les batteries ou des points de ravitaillement pour changer les batteries tout le long du parcours. En attendant, il reste le TGV. Paris-Marseille tout électrique en trois heures !

OLIVIER HERTEL

Notre avis

LES PLUS

- Pollution locale nulle.
- Silence et agrément de conduite.
- Prix de l'énergie.

LES MOINS

- Recyclage des batteries.
- Déchets radioactifs quand l'électricité est d'origine nucléaire.
- Autonomie et système de recharge à améliorer.

DÉJÀ SUR LA ROUTE

Mais il s'agit surtout de petites citadines. L'industrialisation et la commercialisation de masse n'ont pas encore commencé.

Point faible du véhicule électrique, la batterie représente un enjeu industriel capital. Capacité mais aussi temps de charge et fiabilité sont au cœur des recherches.

Batteries : le courant passe mieux

Pour avancer, une voiture a besoin d'énergie. Mais c'est un système clos : elle ne peut exploiter que l'énergie qu'elle est capable de stocker. A ce jeu, les combustibles fossiles sont champions : un simple kilo d'essence (ou de gazole) fournit 12 kW/h. Rouler à l'électricité est une autre histoire : une classique batterie au plomb et sa quinzaine de kilos ne stockent guère plus de 0,5 kW/h... On mesure donc à quel défi les concepteurs et fabricants se retrouvent aujourd'hui

confrontés pour améliorer la capacité de stockage des batteries tout en leur conservant une taille et un poids compatibles avec leur utilisation dans une voiture.

Ces dernières années, la prolifération de dispositifs électroniques nomades, téléphones mobiles, baladeurs, GPS, appareils photo, etc., leur a fourni un excellent terrain d'apprentissage et un banc de test grandeur réelle. Même si les puissances mises en jeu n'ont rien de commun, les deux problè-

mes majeurs restent en effet identiques : autonomie de l'appareil et temps de recharge.

L'effet mémoire bientôt aux oubliettes

Dans toute batterie, quel que soit son type, l'électricité est stockée par une réaction électrochimique réversible. Cette réaction a lieu entre deux éléments (des matériaux très variables, plomb, lithium, nickel, etc.) qui échangent des électrons. L'un en perd («réduc- ●●●



Pour les véhicules électriques, le problème crucial reste la recharge. Ici, une borne à Londres.

L'avènement électrique

●●● teur»), l'autre en gagne («oxydant»), les deux formant ainsi un couple baptisé «redox», qui confère à la batterie ses spécificités – en particulier son potentiel et, *in fine*, sa capacité de stockage d'énergie.

L'une des technologies les plus anciennes fait appel à des plaques de plomb baignées par une solution d'acide sulfurique. C'est l'oxyde de plomb qui se forme à la surface des plaques, lors de la charge, qui stocke l'électricité. Peu coûteuses, ces batteries n'offrent cependant qu'une faible énergie massique (rapport entre la capacité et le poids de la batterie, c'est-à-dire quantité d'énergie au kilogramme) et sont très longues à recharger. De plus, leur poids et l'acide liquide qu'elles contiennent les rendent inexploitable sur des appareils portables.

Pour ces derniers, on leur a longtemps préféré les batteries Ni-Cd, associant du nickel et du cadmium. Rapides à recharger et bien adaptées aux faibles puissances,

elles avaient cependant le défaut de présenter un «effet mémoire» réduisant leur capacité. Quand une batterie de ce type n'est pas rechargée à fond, elle ne délivre en effet qu'une quantité d'énergie partielle, ne correspondant pas à la capacité théorique maximale de stockage. Autre problème: chaque recharge partielle a tendance à dégrader les caractéristiques d'origine de la batterie. On a donc cherché des variantes éliminant cet effet mémoire, tout en améliorant l'énergie massique. Sont alors apparues les associations Ni-MH, pour nickel-métal hydrure, autrement dit nickel, hydroxyde de potassium et terre rare (lanthane: un métal, assez mou, facilement oxydable), ou encore Ni-Zn, pour nickel-zinc. Ces dernières années, on a ainsi vu des batteries Ni-MH se substituer aux traditionnels accumulateurs au plomb sur des véhicules hybrides, comme la Toyota Prius. Cependant, elles restent très coûteuses, près de 1 000

euros par kW/h stocké. Elles sont de plus délicates à gérer, et ne supportent pas les dépassements de charge, qui peuvent même provoquer leur explosion.

Les filières du lithium

Le bouleversement des batteries est venu d'une autre filière, celle du lithium. La première technologie, baptisée «lithium-ion», doit son nom au fait que le lithium n'est pas présent dans la batterie sous forme métallique, mais seulement sous forme d'ions lithium. Ce sont ces batteries, d'excellente énergie massique, jusqu'à 160 Wh/kg contre 30 Wh/kg pour les batteries au plomb, qui équipent les voitures électriques actuelles et sur lesquelles mise l'industrie. Johnson Controls-Saft, par exemple, vient d'inaugurer une nouvelle usine de production à Nersac (sud-ouest de la France).

Problème: ces batteries sont assez instables. En cas de surcharge, elles peuvent prendre feu. Du coup, les

Autonomie pour 50 kg embarqués

● **Plomb** ● 30 à 45 Wh/km ● 8 à 16 h

8 km

● **Nickel-cadmium** ● 40 à 55 Wh/km ● 1 h

14 km

● **Nickel-métal hydrure** ● 60 à 70 Wh/km ● 2 à 4 h

18 km

● **Nickel-zinc** ● 70 à 80 Wh/km ● 1 à 3 h

20,5 km

● **Lithium-ion** ● 90 à 160 Wh/km ● 2 à 4 h

33 km

● **Lithium-polymère** ● 80 à 130 Wh/km ● 2 à 4 h

41 km

● **Lithium-air** ● 1 500 à 2 500 Wh/km ● Indéterminé

630 km

● **Essence/gazole** ● 10 000 à 12 000 Wh/km ● 2 à 3 min

1 100 à 1 300 km

ESSENCE/BATTERIES: UN MATCH INÉGAL

A masse équivalente, l'énergie qu'emmagasinent des batteries est encore très inférieure à celle que contient un réservoir d'essence. Ici, nous avons équipé une même voiture d'un dispositif de stockage pesant 50 kg, batterie, essence ou gazole, et nous avons comparé son autonomie sur autoroute en fonction des technologies mises en jeu. Notre estimation est pondérée pour prendre en compte les différences de rendement des moteurs (47 % pour un bon moteur thermique, 90 % pour un électrique). Si 50 kg correspondent à environ 65 litres d'essence, les voitures électriques embarquent toutes une masse de batteries beaucoup plus importante, d'où ici leur faible autonomie apparente.

● Type de batterie ● Energie massique ● Temps de charge



industriels lorgnent vers la filière lithium-polymère, beaucoup plus sûre, bien que fournissant une énergie massique légèrement moindre, inférieure de 10 à 30 Wh/kg à celle des batteries lithium-ion.

D'autres filières sont envisagées. L'une des plus prometteuses semble être la filière lithium-air, qui fait appel à l'oxygène de l'air ambiant. Les valeurs annoncées pour l'énergie massique s'envolent : 2 500, voire 5 000 Wh/kg, mais cette filière n'en est encore qu'à ses balbutiements. En France, l'Inist (département du CNRS) mais aussi de nombreux laboratoires d'universités, comme ceux de l'université de Picardie, travaillent sur cette filière. Le MIT (Massachusetts Institute of Technology), aux États-Unis, s'y intéresse aussi. Mais aucun constructeur ne s'avance encore sur la fiabilité ou le nombre de recharges que pourront supporter ces batteries.

Stations-service pour échanges de batteries

Autre défi pour les batteries : atteindre un temps de recharge minimal, ou du moins offrir une possibilité de recharge partielle. Faire le plein d'un réservoir ne demande qu'une ou deux minutes, recharger une batterie en exige bien plus. Il faut en effet du temps pour que les ions se recombinent par l'intermédiaire de la réaction chimique réversible qui s'opère dans la batterie. Si les transferts de charge peuvent se faire de manière immédiate, ce n'est pas le cas des recombinaisons chimiques. Tenter de brusquer la réaction peut même avoir des effets pervers. A l'extrême, si la batterie surchauffe durant l'opération, elle peut exploser. Plus grave encore, les dégâts peuvent ne pas être immédiatement apparents. Par exemple, de mauvaises conditions de recharge peuvent conduire à la formation de courts-circuits internes dans la structure même de la batterie, susceptibles d'entraîner son inflammation spontanée même après la fin de l'opération de charge.

Pas question, donc, pour recharger les batteries, d'envisager le concept habituel de station-service. Chez soi, on peut laisser le véhicule branché toute la nuit, ou du moins quelques heures, pratique irréalisable en revanche... sur le bord d'une route.

SUPERCONDENSATEURS

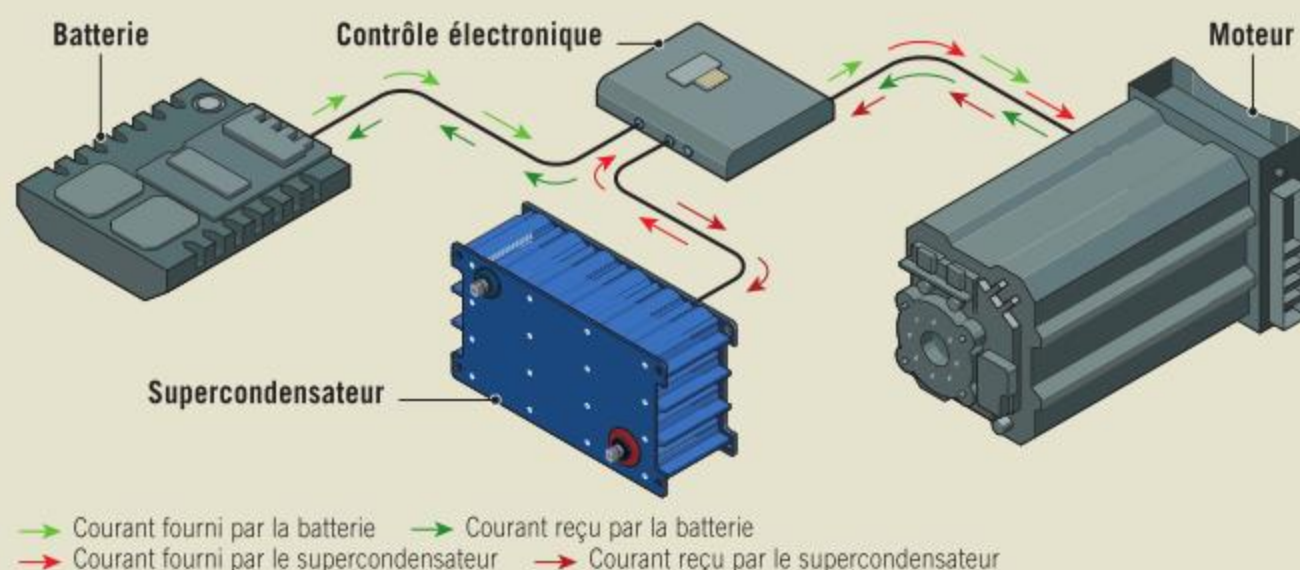
Coup de pouce à l'accélération

Filière complémentaire aux batteries, les supercondensateurs commencent à être commercialisés par des industriels comme Maxell, et utilisés sur certains concept-cars. Leur rôle : donner un coup de pouce à des batteries un peu « molles » en fournissant les courants importants nécessaires à une phase d'accélération. Si les batteries emmagasinent l'énergie électrique par l'intermédiaire d'une réaction chimique, les condensateurs,

eux, la stockent par transfert de charges à la surface d'électrodes. D'où un comportement radicalement différent lors des cycles de charge et de décharge. Les batteries ne peuvent délivrer ou supporter des courants que dans une certaine limite. Les condensateurs, en revanche, peuvent délivrer des courants extrêmement élevés. Ils sont donc tout indiqués pour assister la batterie lors des phases d'accélération de la voiture qui nécessitent de la puissance. Inversement,

ils peuvent stocker le courant intense récupéré lors du freinage pour le restituer « plus progressivement » à la batterie.

Mais les supercondensateurs, à cause de leur capacité de stockage d'énergie limitée, ne peuvent se substituer totalement à la batterie. Pour la maximiser, on s'efforce d'augmenter la surface utile des électrodes où s'accumulent les charges, par exemple grâce à des nanotubes de carbone qui offrent un rapport surface/volume très élevé.



En phase d'accélération ou de décélération forte, le supercondensateur fournit un apport d'énergie, ou la stocke. Un système électronique gère de façon optimale la répartition du courant.

Pour éviter de condamner la voiture électrique à une utilisation exclusivement citadine (courtes distances), des stations-service pourraient proposer l'échange immédiat d'une batterie à plat par une batterie chargée. C'est la solution retenue par Renault Nissan pour le Project Better Place actuellement déployé en Israël (*lire p.14*). Facilement amovible, le bloc de batterie pourrait être remplacé en quelques secondes.

Autre possibilité : la création de places de stationnement dotées de boucles d'induction. Une solution déjà expérimentée sous le nom d'Opération Praxitel par l'Inria, en 1995, sur une cinquantaine de Clio, à Saint-Quentin-en-Yvelines. Lorsque la voiture vient se garer, ses batteries se rechargent par couplage magné-

tique entre la boucle d'induction et un bobinage logé sous son châssis. Des recharges partielles permettent au propriétaire d'oublier les passages « à la pompe » lors de trajets comportant des pauses, visites de clients, par exemple, mais ne résolvent cependant pas le problème des longs trajets tels que les départs en vacances.

L'adjonction de supercondensateurs (*lire encadré ci-dessus*) permettra probablement de mieux gérer des recharges rapides et réutiliser l'énergie du freinage ou d'une descente, par exemple. Mais, dans l'état actuel de la technologie, il est peu probable qu'ils réussissent à rendre le temps de charge aussi court que celui nécessaire à faire un plein d'essence.

HENRI-PIERRE PENEL

Homme d'affaires anticonformiste, Gildo Pastor, président de Venturi, révolutionne la planète électrique avec ses voitures atypiques.

Venturi, concepteur d'ovnis

Venturi! Ce nom fait encore couler une larme sur la joue des nostalgiques de la « bagnole » des années 1980. Une marque française de voitures de sport exceptionnelles, construites à la main, et qui donna naissance à la fameuse 400GT : plus de 400 ch, 300 km/h, des freins en carbone ! Mais Venturi, c'était aussi des déboires financiers, des restructurations, des licenciements... Alors, quand, en 2001, le Monégasque Gildo Pastor rachète la marque, tous les passionnés se demandent ce qu'elle va devenir.

ressembler à une camionnette. Elle peut être sportive et sexy». Deux ans plus tard, en 2004, Venturi présente sa nouvelle Fétish, complètement repensée. « *Nous l'avons construite autour de ses batteries disposées en T à l'arrière et entre les deux sièges. Elle repose sur un châssis en carbone avec un cœur aluminium en nid d'abeille* », explique Nicolas Mauduit, le directeur technique de Venturi.

La Fétish est désormais la première voiture de sport électrique, un roadster deux places, équipé de 250 kg de batteries lithium-ion et

Modèle unique, la Fétish fait payer très cher son anticonformisme. Les candidats à l'achat – cinq clients ont déjà déposé un acompte – devront déboursier près de 300 000 € hors taxes pour une voiture qui ne devrait être livrée qu'en 2009. Mais elle est surtout une démonstration de savoir-faire. Car pour une petite entreprise comme Venturi, l'objectif est de séduire les industriels. Impossible de se lancer sur le marché sans le soutien d'un grand groupe.

Fort du succès de la Fétish, Pastor remet son équipe au travail sur deux nouveaux concepts iconoclastes. Le premier part d'une question très tendance : « Quand on n'a plus de pétrole, qu'est-ce qu'il nous reste comme énergie ? » Réponse fausement naïve : du soleil et du vent. Appliqué à l'automobile selon Venturi, cela donne, en 2006, Eclectic, une « voiture », ou plutôt un ovni, aux allures de diligence, à nouveau dessinée par Sacha Lakic. Peu important les performances aérodynamiques – l'engin est prévu pour parcourir de petites distances. Ce qui compte, c'est la bouille incomparable de l'engin (*voir p. 13*). Cette machine « du troisième type » est construite sous un panneau photovoltaïque de 2,6 mètres et hérissée d'une petite éolienne ! Du gadget, si l'on considère leurs rendements dérisoires au regard des besoins énergétiques de l'auto. Mais l'Eclectic est équipée de batteries au plomb rechargeables sur secteur et « compactées » avec le moteur, sous

« La voiture électrique n'a pas besoin de ressembler à une camionnette. Elle peut être sportive et sexy »

Gildo Pastor

Dans les premiers temps, l'homme d'affaires cherche à lancer sa Fétish, une voiture de sport dessinée par le designer Sacha Lakic. Mais il peine à trouver un moteur à la hauteur. Ces difficultés le décident, dès 2002, à revoir complètement sa stratégie. Venturi deviendra un spécialiste de la voiture... électrique ! À l'époque, la voiture électrique c'est, au mieux, une 106 pour services municipaux. Au pire, une voiturette pour parcours de golf. L'entrepreneur du Rocher a d'autres ambitions : « *La voiture électrique n'a pas besoin de*

d'un moteur dont les données techniques s'affichent en watts, une unité quasi inconnue du monde de l'automobile : puissance 180 kW crête ! Traduction : 244 ch, soit les performances d'une Porsche Boxster. Les accélérations sont foudroyantes : de 0 à 100 km/h en moins de cinq secondes, pas loin d'une Ferrari F430. Par contre, la vitesse maximale a été limitée électroniquement à 160 km/h. Enfin, l'autonomie rappelle qu'il s'agit bien d'une voiture électrique : 250 kilomètres à environ 80 km/h.



OLIVIER WARTER



Entièrement recouverte de capteurs photovoltaïques, l'Astrolab est un rêve d'automobile pour le futur : mue uniquement par le soleil.

le plancher. Ce qui laisse beaucoup de place pour l'aménagement intérieur du véhicule. Son marché est celui des déplacements quotidiens en ville, voire dans les îles ensoleillées et ventées. « C'est un engin limité à 50 km/h. Son autonomie de 50 kilomètres est largement suffisante pour une journée en ville. Elle peut transporter trois personnes », explique Gildo Pastor.

Star dans un film de SF

Et quitte à devenir le premier fabricant d'ovnis de la planète, Venturi annonce, en même temps que l'Eclectic, l'Astrolab, une « voiture » électrosolaire de deux places, recouverte de capteurs photovoltaïques à haut rendement (21%) et équipée d'une batterie NiMH (voir pp.19-21) à refroidissement liquide. Autonomie 110 kilomètres, vitesse maxi 120 km/h. « L'idée était de démontrer que si les capteurs photovoltaïques progressaient sensiblement, il serait possible de faire des voitures solaires. Car, pour le moment, l'Astrolab ne peut gagner qu'une quinzaine de kilomètres d'autonomie grâce à ses capteurs », indique Nicolas Mauduit.

L'Eclectic et l'Astrolab ont été présentées au Mondial de l'automobile 2006 et, une fois encore, le succès médiatique a été au rendez-vous. Si l'Astrolab ira probablement rejoindre le musée des drôles de machines roulantes, l'Eclectic devrait être bientôt commercialisée. « Nous avons eu de nombreuses demandes, et nous allons présenter au Mondial 2008 la deuxième version, qui devrait entrer en production en France dès cette année pour un lancement sur le marché en 2009 », annonce Gildo Pastor. Cette « Eclectic 2 » gardera l'allure qui a fait son succès, mais sera de la taille d'une Smart et perdra probablement son panneau solaire, obsolete sur une surface aussi réduite. Venturi vise les flottes d'entreprises voulant peaufiner leur image écolo et les anticonformistes.

En homme d'affaires avisé – il est présent dans l'immobilier, propriétaire de Radio Monaco, et s'apprête à lancer une bière monégasque –, Gildo Pastor a aussi profité de l'expertise acquise dans le développement de ses véhicules électriques pour s'intéresser à la conversion de voitures thermiques en électri-

ques. « Nous avons développé une solution très compacte qui nous permet d'installer le moteur et ses batteries à la place du moteur thermique, sur ses points d'ancrage. Il n'est plus nécessaire d'aménager le châssis. Tout rentre sous le capot à l'avant », précise Nicolas Mauduit. Ce système ultra-compact, validé sur un Citroën Berlingo, vient d'être présélectionné par La Poste pour sa future flotte électrique.

En consacrant une partie de son activité à la conversion thermique/électrique, Venturi veut, à nouveau, attirer l'intérêt des grands constructeurs qui ne peuvent remettre en question tout leur outil industriel pour l'adapter à la production de voitures électriques. Mais il n'abandonne pas pour autant son image glamour : « Il y aura encore au Mondial 2008 plusieurs concept-cars avec de nouvelles technologies », jure Gildo Pastor. En attendant, l'Eclectic jouera les stars en voiture de police futuriste dans le prochain film de Mathieu Kassovitz, *Babylon AD*, une adaptation du roman de science-fiction de Maurice G. Dantec. Pas un rôle d'ovni, mais presque.

OLIVIER HERTEL

ANNONCES FRACASSANTES, controverses, lieux communs... Hommes politiques ou constructeurs, chacun dit son mot sur la voiture de demain.

« Il ne faut pas, par le biais des limites d'émissions de CO₂, réglementer le style de vie des Européens. » **Günter Verheugen**, commissaire de l'Union européenne à l'Industrie, janvier 2008



GRUPE BOLLORE

« PERSONNE NE CROIT EN NOTRE PROCÉDÉ. NOUS, NOUS SAVONS QUE ÇA MARCHÉ »

Vincent Bolloré, à propos de la voiture électrique en location avec option d'achat, *Les Echos*, 29 janvier 2008

« La ville dans vingt-cinq ans, c'est des transports publics et des taxis électriques. »

Philippe Guédon, créateur de la Renault Espace, collaborateur du groupe Bolloré pour la Blue Car

« D'ici à 2012, la moitié de la production de GM aux Etats-Unis pourra rouler à l'éthanol. » **Rick Wagoner**, président de General Motors, 10 janvier 2008



AVELAR / AFP

« Dix ans maximum, c'est le temps qui nous reste pour un ultime sursaut avant le point de non-retour. »

Al Gore, ancien vice-président américain, prix Nobel de la Paix, 2007

« L'environnement est devenu une vraie opportunité pour Renault sur le long terme. »

Alice de Brauer, directeur du plan Environnement Renault, 16 janvier 2008

« Il va falloir réinventer le plaisir automobile. [...] Les véhicules à hydrogène [représenteront] le vrai saut technologique, [mais il faudra] vingt ou trente ans pour régler la question du stockage de l'énergie »

Pascal Hénault, directeur de la recherche de PSA Peugeot Citroën, *La Tribune*, 2 janvier 2008

« SI RIEN N'EST FAIT, LE SECTEUR DES TRANSPORTS SERA BIENTÔT LE PRINCIPAL RESPONSABLE DES ÉMISSIONS DE CO₂ »

Gordon McInnes, de l'Agence européenne de l'environnement, 10 mars 2008



C. DEPLAT/RENAULT

« La voiture électrique, la seule à offrir zéro émission polluante, prendra, avec le temps, l'avantage sur toutes les autres énergies alternatives. »

Carlos Ghosn, président de Renault et Nissan, *Le Monde*, 25 mars 2008

« On fait grand cas de la “voiture verte”, mais nos constructeurs savent bien que, dès que le gallon sera revenu sous les 3 dollars, nous voudrions continuer à poser nos gros culs américains dans de beaux pick-up confortables et des berlines spacieuses. »

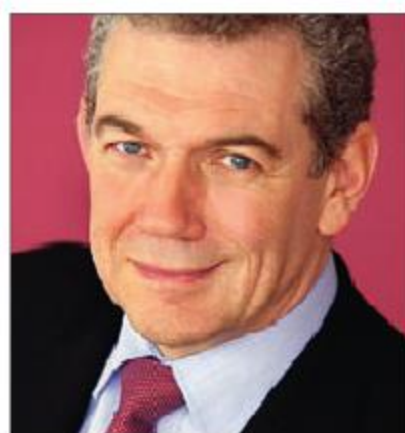
Tom Walsh, spécialiste automobile du *Detroit Free Press*, cité par *Le Monde*, 18 janvier 2008

« L'objectif de porter à 10 %, d'ici à 2020, la part des biocarburants dans la consommation européenne de carburants, n'a pas été remis en cause. [...] Mais nous ne pouvons pas exclure la possibilité de devoir réviser nos objectifs. »

Janez Jansa, président en exercice de l'Union européenne, 14 mars 2008

« C'est une voiture gentille. Elle est dotée d'une pile à combustible alimentée à l'hydrogène. Elle ne rejette rien. »

Takuya Okita, designer de la Honda Puyo, cité par *Libération*, 31 octobre 2007



PSA PEUGEOT CITROËN

« DANS LES VINGT ANS QUI VIENNENT, LA CLÉ DU SUCCÈS, EN MATIÈRE

D'ENVIRONNEMENT, SERA ENCORE LIÉE À LA MISE AU POINT DE MOTEURS THERMIQUES LE PLUS ÉCOLOGIQUES POSSIBLES »

Christian Streiff, président de PSA Peugeot Citroën, *Le Figaro*, 16 février 2008

« Les Français doivent se poser la question à chaque fois de savoir si c'est vraiment utile d'utiliser son automobile. [Il faut] faire preuve d'intelligence et de temps en temps oublier son véhicule au profit de ses deux jambes et de ses deux roues. »

Christine Lagarde, ministre de l'Economie, 2 novembre 2007, RTL

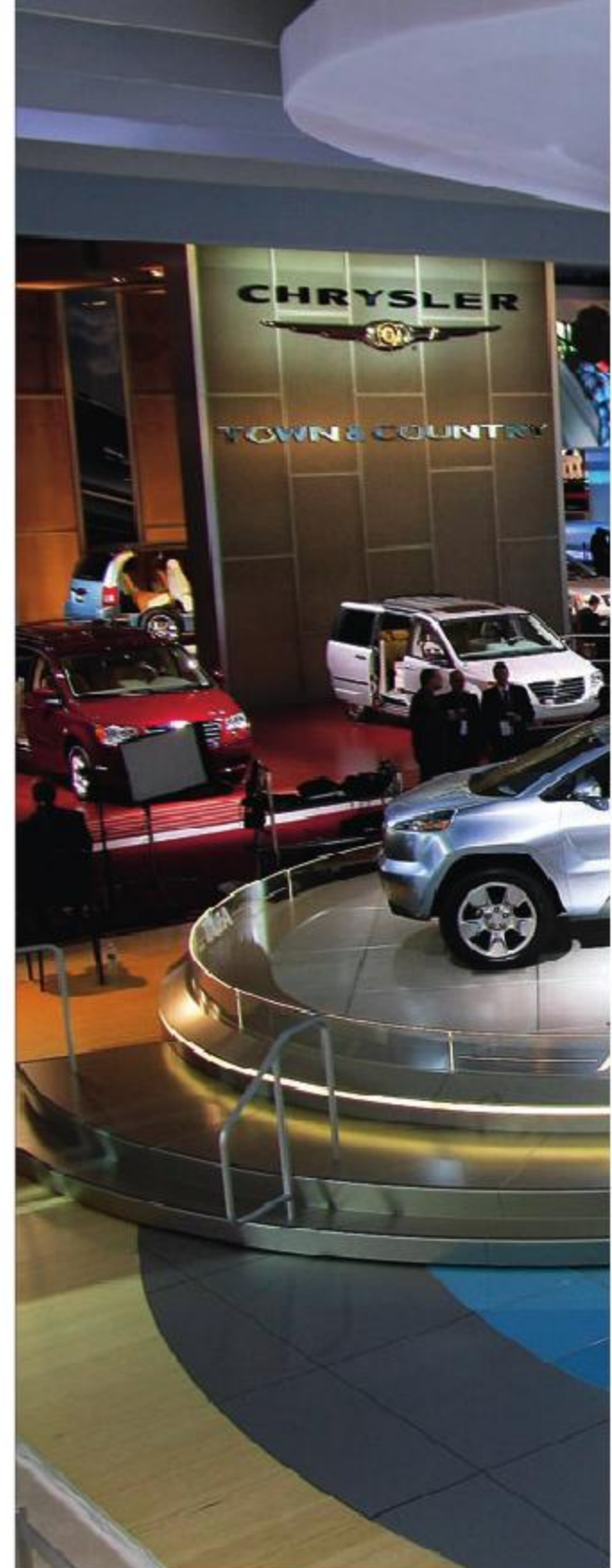
Devenu la « norme » de la voiture propre, l'hybride est aujourd'hui remis en cause par certains scientifiques.

La vérité sur les hybrides

Considéré comme la solution de transition avant la voiture sans pétrole, l'hybride, qui combine un moteur électrique à un moteur thermique, a vu sa cote grimper avec le prix du baril. Lors du salon de Genève en mars dernier, on n'en comptait pas moins d'une douzaine de nouveaux modèles: certains encore au stade expérimental (Toyota i/X Concept, Volkswagen Golf TDI Hybrid, Espace Développement X80 du bureau d'études Philippe Guédon), d'autres à la veille de la commercialisation (Fisker Karma, BMW X6 Vision Efficient Dynamics, Mercedes-Benz GLK BlueTec Vision Hybrid...). Un cortège de nouveautés qui comptent bien s'engouffrer dans la brèche

ouverte par la célébrité Toyota Prius, lancée en 2000 sur le marché américain. Devenue le jouet écologiquement correct du tout Hollywood – on a pu voir au volant d'une Prius, entre autres, Cameron Diaz, Leonardo DiCaprio, Dustin Hoffman et Julia Roberts –, elle approche le million d'exemplaires vendus. Un succès à faire peser Honda, qui avait commercialisé un an plus tôt son Insight sans recueillir le même engouement. Les deux japonaises symbolisent deux concepts différents. L'Insight est une mild-hybrid (semi-hybride). Son moteur électrique apporte un complément de puissance au moteur thermique, mais ne tracte jamais seul l'auto. L'énergie de décélération est utilisée pour

recharger les batteries. Le système a pour but de réduire la consommation de 10 à 20 % et de diminuer la puissance et la cylindrée du moteur thermique grâce au coup de pouce apporté par le moteur électrique. La Prius, ainsi que la plupart des hybrides Lexus (marque prestige de Toyota), appartient, elle, à la deuxième grande catégorie, celle du full-hybrid (hybride intégral). Dans



>	Type d'hybride	Fonctions	Puissance (kW)	Exemple de véhicule
Repères	Micro-hybride	Coupure automatique du moteur essence au feu rouge	2,5 à 5 kW	Citroën C3 Stop & Start
	Semi-hybride (mild-hybrid)	Attributs du micro-hybride + moteur électrique d'assistance et réduction de cylindrée	15 à 20 kW	Honda Civic Hybrid
	Hybride intégral (full-hybrid)	Attributs des micro et semi-hybrides + possibilité de rouler en mode 100% électrique	30 à 50 kW	Toyota Prius Hybrid
	Hybride rechargeable (plug-in hybrid)	Attributs d'un hybride complet + possibilité de charge sur secteur afin d'étendre l'autonomie en mode électrique	30 à 100 kW	Chevrolet Volt (au stade de l'étude)



B. MITCHELL/GETTY/AFP

cette configuration, le moteur électrique peut tracter seul la voiture à faible vitesse. La gestion énergétique est donc optimisée en fonction des conditions de roulage pour réduire, en théorie, la consommation de 50 % en moyenne.

Avec le Stop & Start, 5 % d'essence en moins

Après le mild et le full est, de plus, apparu récemment le micro-hybride, sorte de service minimum de l'hybridation, plus connu sous le nom de système « Stop & Start ». La voiture se conduit normalement, si ce n'est que son moteur thermique se coupe automatiquement à l'arrêt, au feu rouge ou dans les embouteillages, et redémarre quand le conducteur lâche la pédale de frein. Le « Stop & Start » existe déjà sur quelques modèles actuels comme la Citroën C3, mais d'ici 2015, 60 % des nouveaux véhicules en Europe pourraient en être équipés. Ces micro-hybrides parvien-

Salon de Detroit, janvier 2008. Au premier plan, Toyota expose une version plug-in expérimentale de la Prius. Sur la plate-forme, le concept A-Bat, qui annonce le premier pick-up hybride du japonais.

nent à réduire leur consommation de 4 à 5 % pour un surcoût de 200 à 300 euros seulement.

Le gros atout de l'hybridation, c'est qu'elle nous promet de ne rien devoir changer à nos habitudes de conduite tout en concourant à sauver la planète ! Difficile de ne pas succomber. Mais tout n'est pas si vert. De plus en plus de voix s'élèvent pour dénoncer ce qui ressemble moins à la solution miracle espérée qu'à un fantastique coup médiatique, orchestré de main de maître par Toyota avec sa fameuse Prius (*lire l'entretien page suivante*). Le japonais est certes le premier constructeur de voitures hybrides au monde. Mais, pour chaque Prius livrée, il vend quelques dizaines de milliers de 4x4 de toutes tailles. Surtout, il jouit d'une image écolo bien peu rationnelle au regard des performances réelles de sa voiture vedette. Sa consommation moyenne (4,3 litres aux 100 kilomètres) correspond peu ou prou

à l'appétit d'une banale Citroën C4 diesel de 90 ch, sensiblement moins chère à l'achat.

L'hybride, tel qu'il est commercialisé aujourd'hui, n'est donc probablement pas une solution durable pour l'automobile. Pour autant, le concept n'est pas renvoyé aux oubliettes. De nouvelles générations d'hybrides plus performants et surtout adaptés à la diversité des usages sont à l'étude, avec un mot d'ordre clair : à chacun son hybride ! La voiture devra s'adapter aux besoins de son conducteur, qu'il soit urbain ou gros rouleur, voire un peu des deux. « Les réflexions sont largement dominées par la question des usages, constate Gaétan Monnier, directeur de recherches à l'Institut français du pétrole. Le cahier des charges n'est pas facile à établir quand on sait que les conducteurs sont attachés à leur véhicule multi-usages. »

Première grosse tendance : l'hybride « plug-in », littéralement ●●●

«L'hybride, ce n'est pas la révolution verte»

Pour l'économiste Jean-Jacques Chanaron, observateur de l'industrie automobile, cette technologie risque d'en retarder d'autres, plus propres.

La Prius n'est-elle qu'un coup marketing ?

Soyons justes : dans la Prius, il y a tout de même une innovation technique, le système de régulation électronique qui permet de passer de la traction thermique à la traction électrique. Mais son effet sur les émissions de gaz à effet de serre n'est pas à la hauteur du message marketing qu'on a laissé se développer autour de cette voiture. La Prius, ce n'est pas la révolution verte. Je suis sidéré de la légèreté avec laquelle un certain nombre de médias l'ont présentée de la sorte, sans se poser la question de savoir si cette technologie était scientifiquement et économiquement viable à long terme.

Pourquoi les hybrides n'ont-elles pas l'efficacité environnementale qu'on leur prête ?

D'abord, parce qu'elles ont encore un moteur thermique. Ensuite, en doublant la chaîne cinématique – deux systèmes de traction pour un seul mouvement –, on augmente la complexité technique. Il y a forcément des pertes non compensées, et le bilan énergétique n'est pas significativement amélioré.

Le problème, c'est que les mesures qu'on utilise pour les campagnes de publicité sont réalisées sur des cycles standardisés, dans des conditions idéales. Pour l'hybride, il y a un petit gain en ville. Par contre, dans un bilan global du puits à la



roue, l'avantage n'est pas évident, j'ai même peur qu'il ne soit pas positif.

Comment Toyota a-t-il pu imposer l'hybride comme « norme » de la voiture propre ?

La stratégie de Toyota était de promouvoir sa technologie. Par tous les moyens – y compris en vendant sa voiture avec des marges très faibles, voire négatives. Il y a aussi eu un énorme battage médiatique, plus ou moins organisé, aux États-Unis. Malgré cela, le démarrage a été plus lent qu'escompté. Petit à petit, le nom de Toyota, sa réputation de fiabilité lui ont permis de s'imposer. Le concept était innovant, il était présenté comme écologique : tous les éléments pointaient dans la bonne direction. Du coup, Toyota a imposé un modèle que ses concurrents les plus menacés – les constructeurs américains, mais aussi Nissan et Honda – n'ont eu d'autre choix que de suivre. Parce que les consommateurs pensaient à acheter des hybrides, il fallait absolument qu'ils en aient un dans leur gamme.

Vous avez écrit que l'hybride risquait de ralentir le développement d'autres technologies (2). Pourquoi ?

Parce que lorsque vous investissez pour développer une technologie, construire des usines, adapter votre gamme, c'est autant que vous ne mettez pas sur la recherche d'autres solutions, entièrement propres.

Comment voyez-vous l'avenir ?

Cela fait 35 ans que je travaille sur le secteur automobile. Le système est devenu très complexe. Pour moi, il faut repenser les choses à l'envers. Ne pas dire : je vais prendre une voiture et l'électrifier, mais repartir des objectifs sociétaux assignés au transport individuel pour élaborer des solutions techniques appropriées. Nous sommes dans une politique de lobbies qui poussent soit au maintien des technologies dominantes – c'est le cas des pétroliers –, soit à l'émergence de technologies telles que l'hybride ou l'hydrogène uniquement en fonction de leurs intérêts, et non en vue d'une politique mondiale de l'environnement. Le nombre de pays impliqués augmente, le nombre d'acteurs et de centres de décision aussi. La diversité des solutions risque malheureusement de nuire à l'émergence de la plus pertinente. **PROPOS RECUEILLIS PAR ALINE KINER**

(1) « Hybrid Vehicles: a Temporary Step », Jean-Jacques Chanaron et Julius Teske, *Int. J. Automotive Technology and Management*, vol. 7, 2007.

●●● « que l'on branche » sur le secteur. Vu les maigres performances des hybrides en mode électrique – une Prius parcourt tout juste deux kilomètres sur ses batteries –, les constructeurs planchent sur des modèles rechargeables dotés d'une autonomie électrique d'environ cinquante kilomètres. Les clients qui possèdent un garage pourraient alors recharger les batteries sur une banale prise de courant, pendant la nuit, et rouler en ville en mode électrique le lendemain. Bilan : consommation d'essence nulle la semaine, mais les capacités d'un moteur essence pour les longues escapades du week-end.

Autre axe de recherche : la combinaison de plusieurs sources d'énergie et donc de plusieurs niveaux d'autonomie. Il suffit de jeter un œil sur les concept-cars pour comprendre que ce n'est pas une, mais plusieurs solutions qui se préparent. Les constructeurs, bien incapables de dire quelle technologie l'emportera demain, lancent des projets tous azimuts et annoncent sans cesse de nouvelles pistes, notamment pour l'alimentation du moteur thermique des futurs hybrides.

Des moteurs omnivores

Il pourrait continuer de tourner à l'essence, mais aussi au gazole. PSA est dans les starting-blocks pour lancer vers 2011 ses premiers hybrides diesels sur des modèles haut de gamme. En 2007, le groupe avait clairement indiqué son positionnement en dévoilant la Citroën C-Cactus, un concept-car hybride diesel : un moteur électrique de 30 ch pour la ville et un petit moteur Hdi de seulement 70 ch pour la route. Ce qui permettrait à la voiture d'afficher un appétit d'oiseau – 2,9 litres aux 100 km – et des émissions de CO₂ de l'ordre de 78 g/km.

Outre le gazole, le bioéthanol et le gaz compteront parmi les possibilités de carburants à hybrider. L'Institut français du pétrole (IFP) travaille sur la mise au point de deux hybrides au gaz naturel pour véhicule (GNV) : une Smart « mild hybrid » à vocation urbaine qui n'émet que 80 g de CO₂ au kilomètre, et une Prius full-hybrid qui présente une réduction de 50 % de ses émissions, soit 75 g/km, par rapport à un véhicule essence de la même



Trois constructeurs, trois stratégies : diesel électrique chez Peugeot (1), essence électrique à 4 roues motrices chez Lexus (2), hybride *plug-in* pour Chevrolet (3).

catégorie. Cette option est aussi développée par le spécialiste trans-alpin du GNV, Fiat. Sa Panda Aria est un prototype de Start & Stop, équipé d'un mini-deux cylindres de 900 cm³, nourri au GNV coupé à l'hydrogène. Les émissions de CO₂ passent à 69 g/km, contre environ 130 pour la Panda actuelle. « *Mais malgré ses bonnes performances, le GNV reste très encombrant, nuance Jean Delsey, de l'Institut national de recherche sur les transports et leur sécurité (Inrets). L'équivalent en autonomie de 50 kg d'essence est actuellement de... 300 kg de bonnes de gaz comprimé!* »

Une solution dérivée pourrait émerger avec le Gas to Liquid, résultat de la transformation chimique du gaz en carburant liquide, utilisable dans des moteurs à essence (lire p. 53). « *Dans certains Émirats disposant d'importantes réserves de gaz naturel, des raffineries de transformation sont installées à titre expérimental, sans que le Gas to Liquid soit encore vendu. Si ce n'est pour des essais menés sur l'A380.* »

En se projetant encore plus loin dans le temps, d'autres combinaisons sont envisageables, comme l'utilisation de l'hydrogène comme carburant dans un moteur thermique (testé par BMW) ou dans des piles à combustible (lire p. 32). Mieux encore : les moteurs des

futurs hybrides pourraient bien devenir omnivores et fonctionner avec plusieurs carburants. C'est le cas du concept-car Volt de Chevrolet (General Motors), dévoilé au salon de Detroit en janvier 2007. Basé sur la technologie flex-fuel, cet hybride rechargeable (*plug-in*) accepte aussi essence et superéthanol E85, aurait une autonomie électrique de 64 kilomètres et une consommation de 4,7 l aux 100 km.

Marchés locaux

Cette diversification énergétique pourrait être aussi guidée localement, en termes de compétences, de marché, mais aussi de ressource

ces naturelles disponibles. « *Il est évident que les effets régionaux joueront* », assure Gaétan Monnier. C'est d'ailleurs déjà le cas, avec la prédominance des hybrides essence au Japon et aux États-Unis, là où la distribution diesel n'est pas implantée. Dans des contrées plus septentrionales, le projet de « route de l'hydrogène » – 587 kilomètres avec des stations délivrant le fameux gaz, en Norvège – a encouragé Toyota à fournir pour les tests des Prius H2Hybrid, dont l'hydrogène est le carburant principal. Toujours sur ce créneau, l'américain Ford, avec sa technologie HySeries, se tourne quant à lui vers l'hybridation qui associe piles à combustible et batteries lithium-ion. Quand la batterie passe en dessous des 40 % de charge, la pile à combustible la recharge. Mise au goût de toutes les sources de carburant à venir, « *la technologie hybride sera très certainement celle sur laquelle s'appuieront toutes les autres d'ici à 2050, continue-t-on d'affirmer chez Toyota. Mais le xx^e siècle ne sera pas celui de la science-fiction! Les voitures ne s'envoleront pas, et la technologie hybride ne fera qu'améliorer ce qu'elle a déjà commencé à faire* ». Pas franchement encourageant...

ALICE BOMBOY ET ERIC BERGEROLLE,
REDACTEUR EN CHEF DU *QUOTIDIEN AUTO*,
www.automobile.nouvelobs.com

Notre avis

LES PLUS

- Sensibilisation à de nouveaux modes de motorisation propres.

LES MOINS

- Consommation et niveau de pollution équivalents aux dernières générations de moteurs thermiques diesels équipés de filtres à particules.
- Autonomie en mode électrique dérisoire.
- Surcoût important.

SUR LA ROUTE AUJOURD'HUI, des full et mild-hybrid essence. A venir en 2010, des hybrides diesel, puis des hybrides rechargeables.

Chine. La nouvelle révolution technologique

Pour pouvoir développer son secteur automobile tout en assurant son indépendance énergétique, la Chine mise sur le véhicule électrique.

En Chine, le développement de la voiture électrique est devenu affaire d'Etat. Depuis 2001, le gouvernement en a fait un «projet clé», aux ambitions presque démesurées: la moitié des véhicules commercialisés en Chine devraient être électriques (hybrides, 100 % électriques et à hydrogène) en 2020. Et, d'ici 2010, la consommation en carburant des nouveaux véhicules devra baisser de 15 %. Des objectifs qui pourraient laisser sceptique s'ils n'étaient soutenus par une politique volontariste. L'enjeu est de taille. Avec l'explosion de son parc automobile, qui devrait atteindre 60 millions de véhicules d'ici 2010 et 150 millions en 2020, le pays se trouve confronté à d'importants risques énergétiques et écologiques. La Chine a importé 163 millions de tonnes de pétrole en 2007, dont 26 % ont été absorbés par les transports. Et l'on évalue ses

besoins à 220 millions de tonnes en 2020. La pollution est en outre devenue un véritable casse-tête: à Pékin et Shanghai, on estime que 60 % de la pollution atmosphérique est liée aux rejets automobiles. Depuis un an, la

Chine est devenue le premier émetteur mondial de dioxyde de carbone.

Le gouvernement de Pékin est donc confronté à un dilemme: d'une part, la nécessité d'encourager la production automobile, pilier industriel, d'autre part, les contraintes énergétiques et écologiques. C'est grâce aux véhicules propres qu'il cherche à résoudre cette contradiction: «*Sur les*

voitures classiques, la Chine est en retard. Le rêve des Chinois, c'est de développer leur propre technologie, qu'ils pourraient ensuite exporter», souligne Roseline Legrand, spécialiste des transports à la Mission économique française de Pékin. Les autorités ont mis en place un vaste programme de recherche mobilisant laboratoires, universités et industries (voir l'interview ci-contre). «*Le pouvoir de l'Etat en tant que coordinateur et leader, et sa capacité à investir des fonds publics sont cruciaux*», constate Wayne Xing, rédacteur en chef de *China Automotive Review*. De fait, la recherche avance vite et bénéficie de la coopération entre les laboratoires et les entreprises: les technologies sont ainsi rapidement testées à grande échelle. Le ministère chinois des Sciences et Technologies ne cache pas sa satisfaction: «*Le programme sur les voitures électriques a permis de faire en quatre ans autant de progrès qu'en huit ans dans les pays développés*», clame son site internet. Pas moins de 796 brevets nationaux et internationaux ont été déposés durant cette période!

La Chine mène de front des recherches sur tous les véhicules électriques, ainsi que sur les carburants alternatifs. Ils sont testés un peu partout dans le pays: véhicules électriques à Tianjin, Pékin ou Wuhan, hybrides à Changchun, pile à combustible à Pékin et Shanghai, taxis et bus au bioéthanol ou biogaz un peu partout... Une entreprise locale, BYD, spécialiste mondial des batteries, vient même d'annoncer pour la fin de l'année la commercialisation d'un véhicule hybride «révolutionnaire». La voiture électrique de demain sera peut-être chinoise.

SÉVERINE BARDON, À PÉKIN



Un marché de 60 millions de voitures en 2010.

INTERVIEW

Zhen Zijian, directeur adjoint du Projet 863

«Nous progressons très vite»

Qu'est-ce que le Projet 863 ?

Son objectif est de développer la recherche sur la voiture électrique et les carburants alternatifs. Il est encadré et financé par le ministère des Sciences et Technologies. Entre 2001 et 2005, 1 milliard de yuans ont été versés par le gouvernement pour la R&D automobile. Entre 2006 et 2010, le ministère prévoit d'investir encore 1,1 milliard de yuans. Nous subventionnons toute la recherche publique, soit 3000 personnes environ. Les entreprises, elles, financent leur propre R&D. L'investissement privé dans ce domaine était de 2 milliards de yuans entre 2001 et 2005, et devrait atteindre 3 milliards sur les cinq années suivantes.

Quels sont les axes privilégiés ?

Il faut s'adapter aux besoins des entreprises, ce sont elles qui sont déterminantes. Or il existe un marché pour toutes les énergies et toutes les techniques. La recherche publique privilégie les projets à long terme, qui n'ont pas encore d'application industrielle: voiture 100 % électrique et pile à combustible.

Quels sont les atouts de la Chine ?

Notre industrie automobile est encore en retard par rapport à l'étranger. Mais en ce qui concerne les nouvelles énergies, nous avons commencé tôt, et nous progressons très vite. Surtout, nous avons un net avantage sur les batteries et les ressources naturelles: la Chine possède la moitié des réserves mondiales de lithium.



10 janvier 2008 : la Nano du géant indien Tata est la star du salon automobile de New Delhi.

Inde. Le royaume de la voiture à bas coût

Nouvel acteur incontournable dans le secteur automobile, l'Inde parie sur la production de véhicules économiques.

C'est la «voiture du peuple» version 2008. Le constructeur indien Tata a présenté début janvier la voiture la moins chère du monde: la «Nano», 2 500 dollars (1 700 euros). Une annonce spectaculaire faite lors du Salon automobile de New Dehli, dont le succès – deux fois plus d'exposants qu'à Tokyo – confirme l'émergence de l'Inde sur le marché de l'automobile.

La Nano, c'est le retour à un principe un peu oublié: une voiture, ça sert d'abord à rouler. 3,1 mètres de long, moteur de 633 centimètres cubes – pas plus qu'une moto –, compteur kilométrique analogique et boîte de vitesses simplissime: chaque pièce a été pensée en fonction de son coût et de son utilité. Design minimaliste et matériaux composites allègent le poids. Consommation: 4,5 l aux 100 km. Vitesse: 110 km/h.

Les experts s'attendent à ce qu'elle change profondément le comportement d'achat des Indiens, en créant un nouveau marché, mais aussi parce que de nombreux consommateurs songent à remplacer leur unique véhicule par deux Nano. Du coup, tous les constructeurs entrent dans la course à la voiture *low cost*. Des compagnies comme Suzuki et Hyundai ont baissé leurs prix sur les modèles bas de gamme. Ford, Nissan, Renault investissent sur le secteur. Même les spécialistes de la voiture de luxe, comme BMW, s'intéressent au phénomène. Mais il focalise aussi l'attention des écologistes, effrayés par la pollution qui étouffe les villes indiennes. La perspective de voir des millions de nouvelles autos sur les routes est un cauchemar environnemental. Une

analyse que beaucoup d'Indiens trouvent hypocrite: les nations occidentales possèdent déjà des millions de voitures, alors que leur population ne représente qu'une petite portion de la population asiatique. De plus, la voiture ne serait pas un produit de luxe, mais de première nécessité lorsque les infrastructures et les transports en commun sont insuffisants. Enfin, selon Ratan Tata, «la Nano est plus propre que les scooters qu'elle remplace». Son pot catalytique diminuerait les émissions de polluants de 80 % et elle n'émettrait que 30 grammes de CO₂ par kilomètre, quand la moyenne est de 160 en Europe.

Le débat sur la Nano souligne bien les paradoxes de la croissance des pays émergents. L'orientation de l'Inde, en tout cas, semble claire. Alors que le pays joue un rôle important dans l'évolution du climat global, son industrie semble peu concernée par les problèmes environnementaux. Les recherches privées et les incitations publiques pour sortir de l'ère des énergies fossiles et innover dans les secteurs de l'hybride ou de l'électrique sont rares. La première percée dans les nouvelles technologies a été réalisée par la Reva, seule voiture électrique indienne. Son constructeur se vante d'être devenu le plus important vendeur de voitures électriques au monde, et d'avoir reçu 30 millions du Global Environment Fund (GEF). Mais, mise en perspective, la Reva est bien peu de chose: surtout disponible en Inde, elle a, pour l'instant, été vendue à 3000 exemplaires.

Une industrie peu concernée par l'écologie

blèmes environnementaux. Les recherches privées et les incitations publiques pour sortir de l'ère des énergies fossiles et innover dans les secteurs de l'hybride ou de l'électrique sont rares. La première percée dans les nouvelles technologies a été réalisée par la Reva, seule voiture électrique indienne. Son constructeur se vante d'être devenu le plus important vendeur de voitures électriques au monde, et d'avoir reçu 30 millions du Global Environment Fund (GEF). Mais, mise en perspective, la Reva est bien peu de chose: surtout disponible en Inde, elle a, pour l'instant, été vendue à 3000 exemplaires.

SUBHASH AGRAWAL

RÉDACTEUR EN CHEF DE INDIA FOCUS, NEW DELHI

REPÈRES

LE GROUPE TATA

- Chiffre d'affaires : 28,8 milliards de dollars
- 290 000 employés dans 85 pays
- A racheté le 25 mars dernier les marques Jaguar et Land Rover à Ford.

LE MARCHÉ AUTOMOBILE

- 1,4 million de voitures vendues en 2007
- 2,2 millions en 2010

Annoncée depuis des années, la voiture à hydrogène n'existe toujours qu'à l'état de prototype. Faut-il vraiment y croire ?

Hydrogène : quelque part dans le futur...

Alors, ça vient ? La voiture à hydrogène, c'est pour quand ? On s'impatiente ! D'autant qu'on nous a beaucoup promis. En 1999, l'ancien président du groupe DaimlerChrysler, Jürgen Schrempp, n'avait-il pas annoncé 100 000 véhicules à pile à combustible en 2005, et l'ancien Premier ministre japonais Koizumi, 50 000 en 2010 ? Le temps passe, les échéances sont dépassées. Pour Daimler et General Motors, les 100 000 voitures, c'est désormais pour 2015, pour Honda, c'est 2020. Mercedes annonce la mise sur le marché de Classe B dotées d'une pile à combustible à partir de 2010... mais seulement en série limitée et en location. Parole, parole !

L'hydrogène avance pourtant, il grignote du terrain loin des discours enflammés de PDG trop optimistes. Courant 2008, une petite flottille d'engins mus par des bonbonnes d'hydrogène va se déployer dans la région de Grenoble. Pas des bolides, ni des berlines grand luxe. Des fauteuils roulants, des petits utilitaires pour les espaces verts, quelques minibus, un tricycle de livraison, des scooters vont circuler dans les rues, se fondre dans

le paysage, tenter de devenir « ordinaires ». C'est le but premier du programme européen Hychain : « *Il s'agit de voir si les gens ont des appréhensions vis-à-vis de l'hydrogène* », explique Erwin Penfornis à la direction des technologies avancées d'Air Liquide, société qui gère le programme Hychain. L'enjeu, c'est maintenant « l'acceptation sociale », et non plus la technologie. Ces engins électriques seront alimentés par des recharges que les utilisateurs iront chercher chez des distributeurs. Conçus pour effectuer de petits trajets, ils n'auront pas de problème d'autonomie. Rien de bien sorcier. Air Liquide attend beaucoup de cette expérience. Le deuxième vendeur au monde d'hydrogène (avec 20 % du marché mondial, derrière l'américain Air Products, 48 %) lorgne sur ce marché avec appétit, s'imaginant déjà en pétrolier du futur. Depuis dix ans, l'entreprise est portée par une utilisation ●●●

REPÈRES

L'hydrogène est non pas une source, mais un vecteur d'énergie dont la densité énergétique est trois fois supérieure à celle de l'essence.

Revers de la médaille, sa densité volumique est extrêmement faible. Il faut une masse de cent kilos pour stocker soit 12,5 kilos d'hydrogène liquide, soit 5 kilos d'hydrogène gazeux comprimé à 700 bars.



BMW H2R, concept-car à hydrogène.



TED SOQUI/CORBIS

●●● croissante de l'hydrogène: «La désulfuration de l'essence, réalisée grâce à l'hydrogène, et imposée par la réglementation sur la qualité de l'air mais aussi par les exigences techniques de bon fonctionnement des pots catalytiques, augmente fortement les besoins, explique Xavier Drago, directeur du développement durable chez Air

Liquide. Cela nous conduit à multiplier les investissements dans la production et la distribution, ce qui pourrait préfigurer une autre utilisation, et de plus grande ampleur, sur le territoire.»

Aujourd'hui, cette société exploite 1 700 kilomètres de canalisations dans lesquelles l'hydrogène circule à une pression de 100 à 200 bars,

fait rouler un millier de camions-citernes, distribue des centaines de milliers de bonbonnes. Or, l'essence et le gaz ne circulent pas autrement: «Nous devons nous préparer à passer d'une clientèle industrielle très localisée à un marché diffus de particuliers», résume Xavier Drago.

Il faudra cependant changer de mode de production. Actuellement, l'hydrogène résulte du vaporeformage de la molécule de gaz naturel, dont le principal composant est le méthane (lire l'encadré ci-contre). Pendant cette opération, du CO_2 est émis. Ainsi, en désulfurant l'essence, Air Liquide évite les émissions de 700 000 tonnes de dioxyde de soufre (SO_2), mais génère 3,3 millions de tonnes de CO_2 . Il n'y aurait aucun progrès sur le réchauffement planétaire si demain tous les véhicules roulaient avec un hydrogène produit à partir de méthane.

Bientôt des autoroutes de l'hydrogène?

Pour sortir de ce paradoxe, les solutions techniques sont peu nombreuses. L'électrolyse demande énormément d'électricité, et celle-ci, pour être propre, ne doit pas provenir d'énergies fossiles. Le nucléaire n'est pas la solution: outre le problème des déchets, il faudrait, selon Paul Lucchese, directeur du programme Nouvelles Technologies au Commissariat à l'énergie atomique (CEA), «32 réacteurs EPR pour alimenter 30 millions de véhicules». L'idée serait de recourir à des centrales éoliennes ou solaires de grande puissance, dont on exporterait l'énergie: «C'est tout l'enjeu des centrales solaires du type de celle construite à Sanlúcar la Mayor, en Andalousie, car ces unités concentrent l'énergie solaire et produisent beaucoup d'électricité sur peu d'espace, explique Paul Lucchese. Il existe aussi un projet de centrales éoliennes de grande puissance en Patagonie.»

Ce schéma tend à donner raison à l'économiste américain Jeremy Rifkin, auteur en 2002 de *L'Économie hydrogène*. Les pays les plus susceptibles de tirer parti de l'hydrogène sont ceux qui bénéficient d'un fort ensoleillement ou de vents réguliers. Pour une fois, la chance est du côté des pays en développement.

TECHNIQUE

Trois voies de production

1 Par vaporeformage du gaz naturel

Actuellement principale méthode de fabrication de l'hydrogène, le vaporeformage a peu d'avenir car il utilise une énergie fossile en voie de disparition et génère beaucoup de CO_2 . Il consiste à dissocier les molécules carbonées de l'hydrogène du méthane (CH_4) en présence de vapeur d'eau et de chaleur. A une température de 900° et sous pression, on obtient un gaz riche en monoxyde de carbone (CO), en dioxyde de carbone et en hydrogène. Il faut ensuite purifier le gaz pour en extraire l'hydrogène. Les constructeurs ont songé un temps à insérer un reformeur dans les voitures. Il aurait été ainsi possible de faire le plein du réservoir en gaz naturel, le reformeur se chargeant de le transformer pour alimenter la PAC. Cette solution est plus ou moins abandonnée car elle exige également un système de purification, le CO étant incompatible avec le bon fonctionnement de la pile.

2 Par électrolyse de l'eau

Elle consiste à décomposer chimiquement l'eau en oxygène et hydrogène sous l'action d'un courant électrique. C'est une solution actuellement trois à quatre fois plus chère que le vaporeformage, mais qui a l'avantage de n'émettre aucun gaz à effet de serre



Décomposition de l'eau par cycle thermochimique au Commissariat à l'énergie atomique (CEA), à Saclay.

(si l'électricité ne provient pas d'une centrale au fuel ou au charbon). L'électrolyse peut se faire dans de petites unités et il est donc facile de décentraliser la production sur tout le territoire.

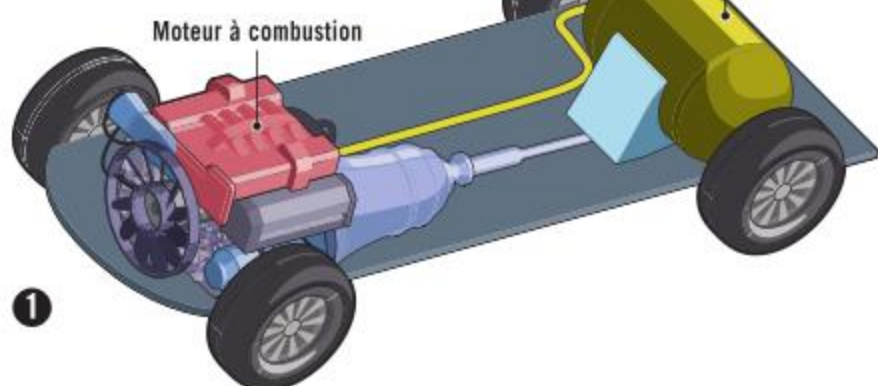
Pour améliorer le rendement énergétique, les chercheurs explorent actuellement la voie de l'électrolyse à haute température. On peut également décomposer la molécule d'eau par cycles thermochimiques. Ce sont les températures de l'ordre de 800 à 1000° qui jouent alors le rôle de l'électricité.

3 A partir de la biomasse

L'hydrogène est produit à partir de la gazéification des végétaux. L'intérêt, c'est que son bilan en matière d'émissions de gaz à effet de serre est nul, car la quantité de CO_2 émise lors de l'opération est équivalente à celle absorbée par les plantes lors de leur croissance. On espère pouvoir un jour employer des bactéries et des microalgues, ces organismes ayant la particularité de produire de l'hydrogène sous l'action de la lumière.

Hydrogène liquide ou pile à combustible

Moteur à combustion interne
8 à 10 kg d'hydrogène liquide
< 300 km d'autonomie



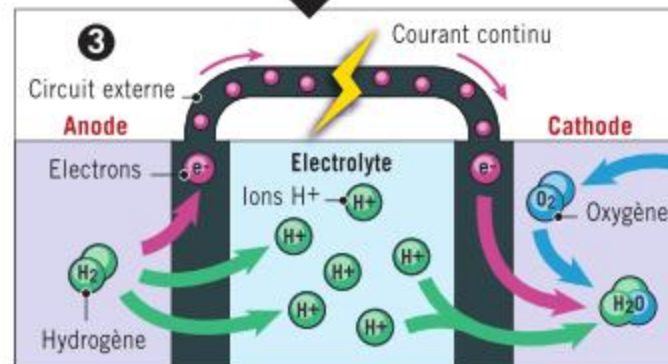
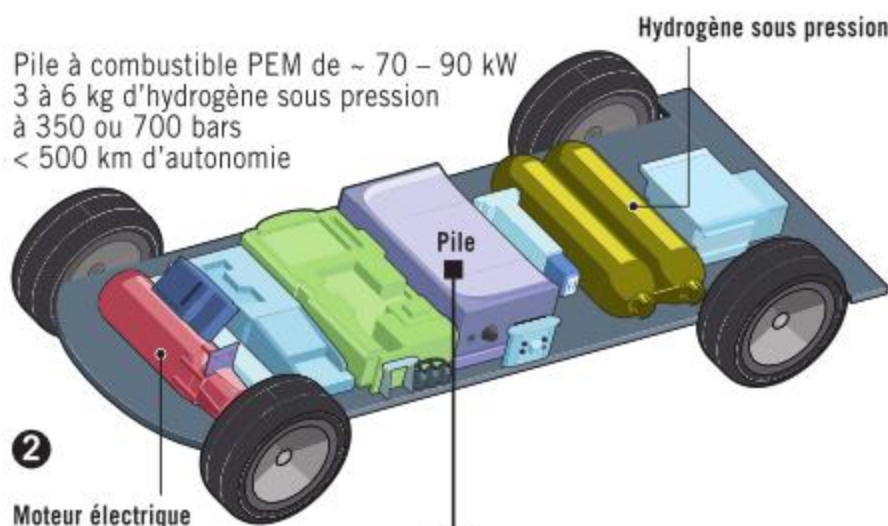
❶ La première voie pour la voiture à hydrogène est le moteur à combustion interne. Le réservoir stocke de l'hydrogène au lieu d'essence. Mais sa taille est limitée et les conditions de température et de pression sont délicates à maîtriser.

❷ L'autre solution est proche de la voiture électrique. L'hydrogène gazeux contenu dans une bombonne alimente une pile à combustible

(PAC) générant de l'énergie pour un moteur électrique. L'autonomie de la PAC est similaire à celle d'un véhicule thermique, mais son rendement énergétique est deux fois supérieur.

❸ Le principe de la pile à combustible est celui d'une électrolyse de l'eau à l'envers. L'hydrogène se recombine avec l'oxygène de l'air dans un électrolyte qui sépare les ions H^+ des électrons. Ceux-ci empruntent un circuit

Pile à combustible PEM de ~ 70 – 90 kW
3 à 6 kg d'hydrogène sous pression
à 350 ou 700 bars
< 500 km d'autonomie



externe pour produire du courant. On obtient ainsi de l'électricité et de la vapeur d'eau.

Si l'on arrive à régler les questions de production d'hydrogène, les obstacles posés par l'adaptation des voitures devraient être facilement surmontés. Les deux voies possibles sont en passe d'être techniquement maîtrisées. Soit on conserve le moteur à combustion interne actuel qu'on nourrit d'hydrogène liquide, soit on équipe les voitures de piles à combustible (PAC) alimentant un moteur électrique (voir schéma ci-dessus).

BMW joue à fond la carte du moteur à combustion interne pour ses berlines haut de gamme. En octobre 2007, une petite brochette de stars de Hollywood a commencé à rouler en limousines propulsées par de l'hydrogène liquide. La voiture de luxe assure les mêmes performances qu'un véhicule à essence, ce qui n'est pas étonnant : seul le carburant change. Et le réservoir. En effet, il faut une cuve à isolation thermique renforcée pour stocker un liquide qui doit être conservé à $-253^\circ C$: « Même si la différence est encore notable, l'hydrogène liquide permet de s'approcher des capacités de stockage de l'essence », note Claude Lamy, directeur du groupe de recherche CNRS sur les piles à

combustible. Pour une voiture de moyenne gamme développant 100 chevaux environ, le réservoir de 60 litres plein d'essence pèse environ 50 kilos. Pour une autonomie similaire, le réservoir d'hydrogène pèsera 130 kilos et sera quatre fois plus volumineux. »

Le revers de la médaille, c'est qu'il

« D'une clientèle industrielle localisée à un marché diffus de particuliers »

faut des pompes et des stations-service adaptées au stockage. Il en existe actuellement une centaine dans le monde, souvent situées près des centres de recherche (deux en France, sur les sites d'Air Liquide et de Total). On évoque la création d'« autoroutes de l'hydrogène », des axes routiers où les stations vendraient le nouveau carburant. Problème : personne ne sait à quelle échéance les investissements nécessaires seront effectués.

La deuxième voie, celle de la pile à combustible – que l'on va voir à l'œuvre à Grenoble avec Hychain – a la faveur des constructeurs fran-

çais et italiens, mais aussi japonais et américains : Peugeot a ainsi exhibé sa 207 Epure, General Motors son Autonomy, Honda sa FCX Clarity, Suzuki sa Ionis. Pas d'emballement ! Aucun constructeur ne donne de date de commercialisation.

80 cm et la puissance d'un moteur à essence

La pile à combustible permet d'obtenir une autonomie similaire à celle d'un moteur thermique avec une masse et un volume d'hydrogène deux fois moindres. L'hydrogène gazeux qu'elle utilise est moins onéreux à produire et moins dangereux que l'hydrogène liquide. L'une des technologies envisagées, la pile à membrane échangeuse de protons (*proton exchange membrane fuel cell*, PEMFC) mise au point par l'américain DuPont de Nemours, pourrait lui permettre de s'imposer dans la voiture car elle est peu encombrante et robuste. La PEMFC utilise en guise d'électrolyte un polymère conducteur ionique, le Nafion, dérivé du Teflon des poêles Tefal : « C'est un système très dense formé par des éléments de 5 mm d'épaisseur empilés vertica- ●●●

EN SAVOIR PLUS

www.hydrogencarsnow.com/hydrogen-concept-cars.htm

« A qui profite l'engouement pour l'hydrogène ? Aux producteurs »

Révolutionnaire, l'hydrogène ? Pas si sûr. Entretien avec l'ingénieur Jean Orselli. Un homme qui a de la mémoire. Et un sens critique bien aiguisé.

Selon vous, l'hydrogène n'est pas l'énergie révolutionnaire dont tout le monde parle...

On sait fabriquer de l'hydrogène par électrolyse de l'eau depuis la fin du XVIII^e siècle. Mieux, le premier moteur à explosion, vers 1805, fonctionnait à l'hydrogène ! Il a été breveté par le Suisse Isaac de Rivaz, par ailleurs inventeur de l'allumage par étincelle. Son véhicule, dont une reconstitution existe au Musée suisse des transports et des communications, à Lucerne, n'avancait que de quelques mètres à chaque explosion (une dizaine par minute). Ensuite, l'hydrogène a été supplanté par les moteurs à explosion brûlant des gaz plus simples à obtenir comme le gaz de houille. Enfin, le pétrole et l'invention du moteur à quatre temps ont lancé le développement de l'automobile (*lire p. 54*). La difficile manipulation des gaz et leur autonomie plus faible expliquent leur retrait face au pétrole.

En 2002, Jeremy Rifkin a popularisé mondialement la notion d'« économie hydrogène » (2). Mais là encore, rien de nouveau ?

Ce terme très évocateur apparaît en effet dès les années 1960 sous la plume d'un consultant de General Motors, John O'M. Bockris. A l'époque, on commence à parler de pollution atmosphérique. Toutes les solutions alternatives à l'essence sont essayées. C'est le cas de l'hydrogène. On ressort la version « moteur à explosion », mais je me souviens



BERNARD MARTINEZ POUR SCIENCES ET Avenir

« Le tout premier moteur à explosion, vers 1805, fonctionnait à l'hydrogène »

que, dans les laboratoires de l'École des ponts, on développait aussi des piles à combustible (*voir schéma page précédente*) dont on disait : « C'est l'avenir ! » Des prototypes et même des bus ont roulé sur ce principe. Dans les années 1990, la Californie s'est remise à parler d'hydrogène en édictant des normes d'émissions. Les ingénieurs ont retrouvé le chemin de l'innovation : alimentation électrique par le sol, recharge par induction... J'ai même roulé, en 1993, dans un bus à pile à combustible zinc/air et non pas à hydrogène !

À quoi sont dues ces réapparitions périodiques ?

Un spécialiste de la technique, Lucien Sfez, explique qu'il y a des dimensions irrationnelles à l'innovation. Comme le solaire, l'hydrogène fascine. La décomposition de l'eau en ses deux éléments, à la fin du XVIII^e siècle, a été un élément fondateur de la chimie moderne. Le *Nautilus*, le sous-marin de Jules Verne, fonctionne à l'hydrogène. La plupart des concept-cars ne seront jamais fabriqués. C'est un spectacle ! Les voitures à hydrogène rentrent dans cette catégorie.

L'irrationnel et le spectaculaire ne suffisent pas à expliquer les investissements actuels ?

Demandez-vous à qui profite cet engouement ! Tout simplement aux producteurs. Ce gaz, dont la production croît sans cesse, est majoritairement utilisé pour faire des engrais azotés et pour désoufrer les essences dans les raffineries. 2 % de l'énergie consommée dans le monde sert à la production d'hydrogène. Mais s'adresser aux pouvoirs publics pour défendre ses intérêts en parlant d'engrais ou de raffineries n'est pas très séduisant. Il vaut mieux parler d'automobiles !

Parmi les zélés de l'hydrogène apparaissent ainsi au premier plan les grands producteurs gaziers et pétroliers. Les pays nucléaires aussi, qui ont mené des recherches pour améliorer la voie électrolytique. La France, ne sachant, dans les années 1980, que faire de son énergie nucléaire, a ainsi lancé deux projets d'usine d'électrolyse, sans suite. Le succès de l'hydrogène résulte de la conjonction entre un business déjà existant et de belles perspectives d'avenir. Ce n'est pas le cas du zinc, dont on ferait de très bonnes piles à combustible : il se recycle, donc n'intéresse pas les producteurs !

**PROPOS RECUEILLIS
PAR DAVID LAROUSSE**

1. Ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement durables.

2. *L'Économie hydrogène*, La Découverte, 2002.

●●● lément, décrit Claude Lamy. Sans élément liquide, cette pile est plus fiable, et elle fonctionne dès la température ambiante. Avec un encombrement de 80 centimètres par 30 de large et 30 de haut, on obtient une puissance de l'ordre de 75 kilowatts, équivalente à celle d'un moteur à essence de moyenne gamme. » La PAC alimente via un convertisseur un moteur électrique qui fait avancer le véhicule.

700 bars en toute sécurité

Le problème, c'est le prix. Il faut dépenser 3 000 euros pour obtenir un kilowatt de puissance quand il faudrait arriver à 50 euros pour concurrencer l'essence. « Mais les prix étaient de 8 000 euros en 2000, fait remarquer Paul Lucchese. Nous avons besoin de vingt fois moins de platine pour les électrodes qu'il y a huit ans, ce minéral onéreux étant le seul que nous puissions utiliser pour cette fonction, et le prix du Nafion ne cesse de baisser. Avec les technologies d'aujourd'hui, nous atteindrions 100 euros par kilowatt si nous avions une fabrication industrielle de 500 000 PAC par an. »

Avec la PAC, le problème de stockage et distribution est moins ardu à résoudre que pour l'hydrogène liquide. Le système est le même que pour le gaz : on échange une bombonne vide contre une pleine. Reste le problème de la sécurité. Les constructeurs savent concevoir des bonbonnes d'hydrogène comprimé à 700 bars tout à fait fiables : « Dans nos essais, ces cartouches n'explosent qu'à 1700 bars », assure Paul Lucchese. Le gros souci actuel porte sur les fuites éventuelles : « L'hydrogène explose à partir d'une concentration dans l'air comprise entre 10 et 75 %, poursuit Paul Lucchese. Dans l'air ambiant, il se dilue immédiatement, mais cela pose un problème pour les atmosphères confinées des parkings ou des garages, que nous étudions très sérieusement. »

La propulsion électrique évite le casse-tête de l'approvisionnement des voitures à hydrogène liquide. Plus facile à alimenter, la pile à combustible peut emprunter une stratégie progressive de conquête du marché : « Nous avons identifié des utilisations "de niche" où cette



En 2004, Arnold Schwarzenegger, gouverneur de Californie, a promis d'y implanter 100 stations à hydrogène.

technologie est très concurrentielle, comme les groupes électrogènes de sécurité pour les équipements électriques, les chariots électriques ou les sous-marins d'exploration », explique Jérôme Perrin, directeur des Projets avancés CO₂ et environnement chez Renault. Le marché que visent les industriels de l'hydrogène est celui des chariots

élévateurs. Tous les ans, cent mille de ces engins fonctionnant sur batterie sont vendus en Europe. Or la recharge demande plusieurs heures et l'autonomie est si courte qu'on doit répéter l'opération quatre fois par 24 heures. Pour un prix concurrentiel, la PAC se recharge en quelques minutes deux fois par jour seulement. C'est par ce marché que la technologie atteindrait le stade industriel, préalable à une utilisation plus large dans l'automobile. Renault est l'un des rares constructeurs à affirmer que le développement massif de véhicules à hydrogène n'est pas pour demain. Mais la diffusion des PAC n'est pas pour autant considérée comme une chimère : « La bonne combinaison serait un véhicule électrique avec batterie rechargeable couplée à une PAC qui permettrait d'augmenter l'autonomie, expose Jérôme Perrin. On aurait ainsi un véhicule qui pourrait parcourir 300 kilomètres. Assez pour vaincre la peur de la panne sèche qu'éprouvent certains conducteurs. »

Il n'est pas certain que l'hydrogène soit le pétrole de demain. Ce qui est sûr, c'est qu'il est toujours aussi risqué de faire des prévisions. La voiture à hydrogène, c'est pour quand ? Quelque part dans le futur, entre bientôt et plus tard.

LOÏC CHAUVEAU

Notre avis

LES PLUS

- Pas d'émission de polluants.
- Pas de bruit.
- Pas d'émission de gaz à effet de serre si l'électricité provient d'une énergie renouvelable.

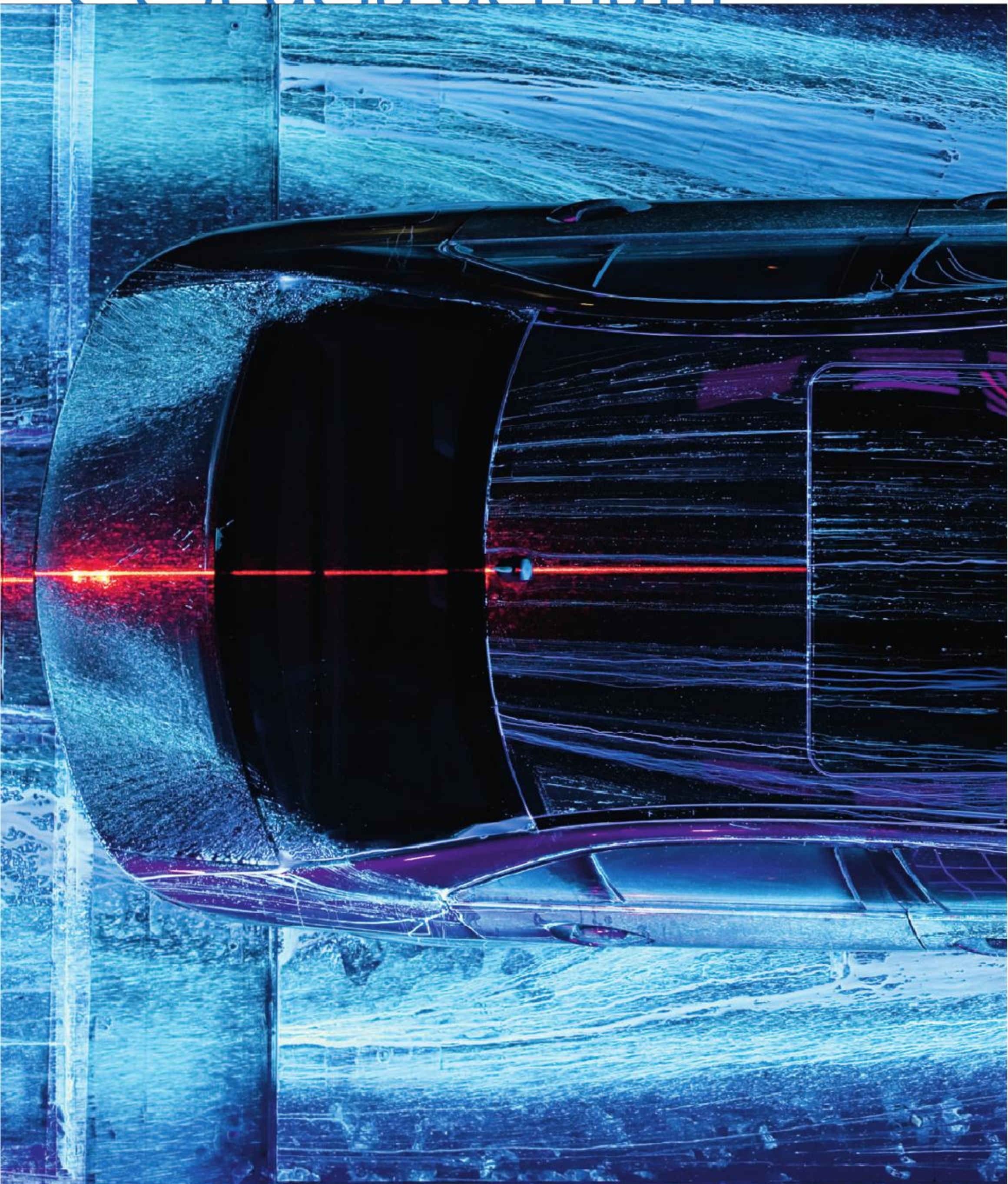
LES MOINS

- Pas de réseau de distribution du type stations d'essence pour l'hydrogène liquide et gazeux.
- Risques d'explosion en atmosphère confinée (garages, parkings).
- Coût élevé des métaux et notamment du platine pour les piles à combustible.

SUR LA ROUTE

Des bus urbains depuis 2003. Pour les voitures, une centaine de prototypes à combustion interne en 2008, et l'arrivée des premiers modèles à pile à combustible en 2010. Commercialisation vraisemblablement au-delà de 2020.

C'est déjà demain



Designers, ingénieurs, chercheurs : ils carburent tous pour le rendre écolo et économe. Alors, pas tout à fait hors course, le bon vieux moteur thermique ?

MERCEDES

Finis la planche à dessin et la maquette. Aujourd'hui, l'outil des constructeurs, c'est l'ordinateur. Reportage dans le temple de la 3D.

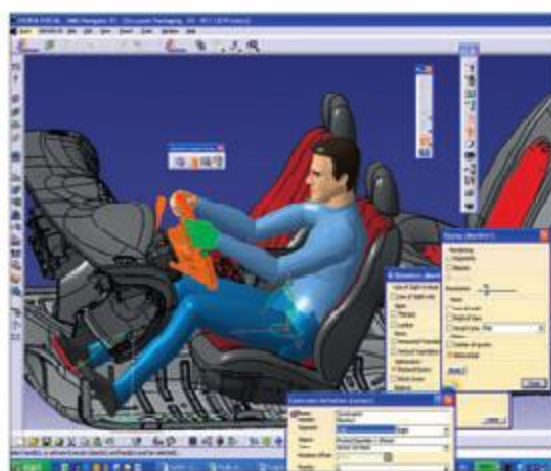
Une voiture 100 % virtuelle

Aussitôt sortie des usines de Sindelfingen (Allemagne), début 2007, la nouvelle Mercedes Classe C est entrée tout droit dans l'histoire de l'automobile. Son originalité: c'est la première voiture au monde conçue entièrement en 3D par ordinateur! De l'idée première au prototype final, aucun dessin 2D, rien qu'un modèle virtuel composé de 2 130 gigaoctets de données, soit l'équivalent de 450 DVD. Tous les constructeurs le disent, ce premier prototype numérique inaugure la conception automobile de demain, 100 % virtuelle.

Le procédé fait gagner du temps à chaque étape de la création, mais surtout, il permet de rectifier le tir en cas d'erreur, bien avant que le véhicule ne soit réellement construit. Pour comprendre comment une telle prouesse est possible, direction Suresnes, chez le leader mondial du logiciel de conception 3D industrielle, qui permet à Boeing de faire voler son nouveau 787 Dreamliner sans avoir construit une seule maquette physique: la société Dassault Systèmes. Le directeur du département automobile, Olivier Sappin, nous propose de visiter toute la chaîne de conception et de production d'un véhicule, jusqu'à la sortie d'usine. Parfait! Nous voici prêts à déambuler dans les allées de l'entreprise, appareil photo à la main, mitraillant d'énormes ordinateurs de calcul. Surprise: Olivier Sappin prend place derrière son bureau vide et allume son ordinateur portable. Tout va se pas-



CARLOS MUNOZ YAGUE/IN VISU POUR SCIENCES ET Avenir



DASSAULT

Sur son ordinateur, Olivier Sappin, responsable automobile de Dassault Systèmes, peut modéliser et tester tous les composants d'un véhicule, comme l'ergonomie ou le moteur. Les paramètres sont calculés et ajustés au millimètre près.

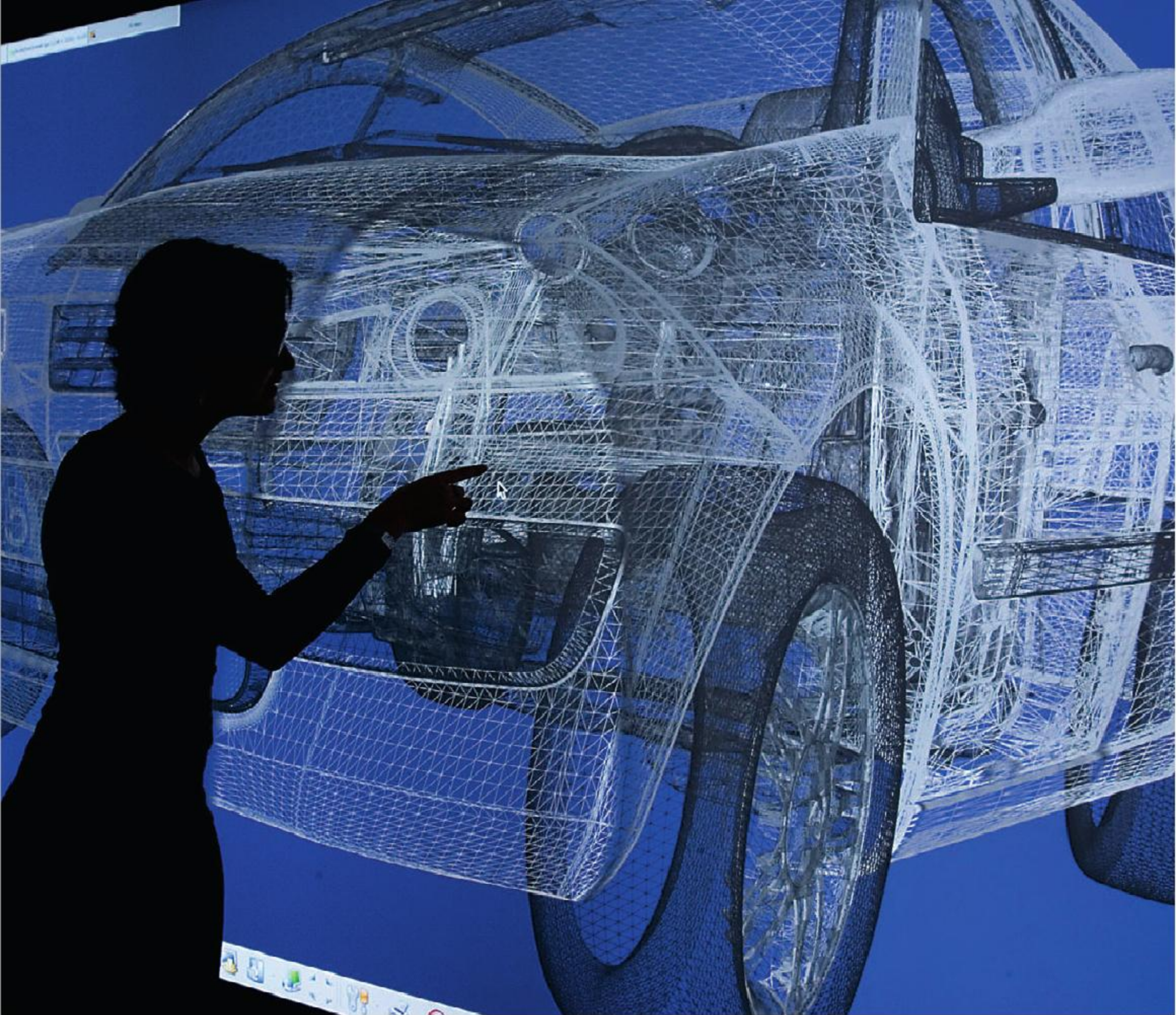
ser entre les quatre murs de cette pièce, sur ce petit écran! Peut-on réellement concevoir une voiture avec un ordinateur comme celui-ci? «Aujourd'hui, oui», répond Olivier Sappin avec amusement. Déroutant. «Nous sommes dans un marché de niches, avec des voitures de plus en plus spécialisées, explique l'ingénieur. Le nouveau challenge est donc de produire dix fois plus de modèles qu'avant, tout en réduisant les coûts. Et il n'y a pas de secret. Pour être rentable, il faut faire "bien" du premier coup. Pas question de constater que des pièces ne s'emboîtent pas convenablement lorsque je les assemble à la fin, ou que le capot ne ferme pas (c'est déjà arrivé!). Plus on s'aperçoit tard d'un problème, plus la facture est salée.»

Pour accélérer la création de prototypes, Dassault Systèmes a donc imaginé, il y a vingt ans, un logiciel de CAO (conception assistée par ordinateur) unique au monde, Catia. Avec Catia, les ingénieurs sont capables de construire des avions, des plateformes pétrolières, des bâtiments, des yachts de luxe... et des voitures. Aujourd'hui, tous les constructeurs automobiles en sont équipés. «Avec cet outil à tout faire, les ingénieurs conçoivent d'abord ce qu'ils appellent le "style" de la nouvelle voiture, ses courbes extérieures et intérieures.» Olivier Sappin nous montre des maquettes virtuelles plus vraies que nature. «Le véhicule peut être une amélioration d'un modèle existant, ou bien en totale rupture avec ce qui

REPÈRES

Aujourd'hui : 12 mois de conception pour une nouvelle version d'un véhicule existant. 5 ans pour un modèle totalement nouveau.

Hier : de 5 à 10 ans pour une création.



PATRICK DUMAS/LOOK AT SCIENCES

se faisait auparavant. » Catia est là pour stimuler et accélérer le brainstorming humain.

Le principe : toutes les innovations du constructeur automobile, les solutions qui ont fait leurs preuves, sont mémorisées dans une base de données que les concepteurs en phase de création peuvent réutiliser à loisir. L'ingénieur va, par exemple, retrouver un intérieur de portière innovant, créé par tel ingénieur, telle année, le modéliser numériquement et le replacer sur le nouveau design. Une transmission numérique du savoir-faire humain, en somme. Catia permet aussi de tester la pertinence de la nouvelle création. « *Les ingénieurs peuvent vérifier dès les premiers stades l'accessibilité de leur pro-*

totype. Par exemple, qu'une personne de grande taille ne se cogne pas la tête, ou bien, si elle mesure 1 mètre 60, qu'elle arrive à pousser le bouton de l'autoradio ou ne conduit pas les bras tendus... » Pour sa nouvelle Classe C, Mercedes avait misé sur le confort et la maniabilité. Les ingénieurs ont donc travaillé avec Catia l'ergonomie, allant même jusqu'à tester leurs fauteuils avec des « fessiers » virtuels de taille variable !

Meccano pour grands enfants intelligents

Tandis que l'on peaufine l'objet d'un côté, une autre équipe met au point le châssis, une pièce maîtresse. Soutien des roues et de la direction, pilier des suspensions, il influe

Le design virtuel permet de tester les idées en temps réel, comme ici, chez Renault.

directement sur le maniement et le confort de conduite. Le logiciel Simulia évalue le taux de vibrations, la fatigue de la structure, son comportement... D'autres ingénieurs planchent sur la motorisation. D'un clic, Olivier Sappin fait apparaître sous nos yeux un moteur et ses centaines de composants assemblés. L'ingénieur peut extraire la moindre pièce, la faire flotter en 3D, bardée de toutes ses données chiffrées. Il l'observe, modifie un paramètre, puis la replace et teste le tout. Un vrai jeu de Meccano pour grands enfants intelligents.

Considérant qu'un moteur met quatre ans à arriver sur le marché et coûte des centaines de millions d'euros de développement, personne n'a droit à l'er- ●●●

«Le plus gros frein à la création est psychologique»

Pour Anne Asensio, designer 3D, il faut libérer l'innovation des vieilles habitudes et des vieux schémas industriels.

La voiture de demain sera-t-elle totalement différente ?

Aux Etats-Unis, des rêveurs sont déjà en train d'imaginer une voiture qui vole ! Technologiquement, on peut faire tout ce qu'on veut, mais sommes-nous prêts à ce genre d'évolution radicale ? L'utilisateur a du mal à changer d'habitudes, surtout en matière d'automobile où l'affect est très important. Le plus gros frein à la création est psychologique. Si la voiture est un peu toujours la même à notre époque, c'est parce que les constructeurs travaillent autour du même modèle économique censé correspondre aux attentes des consommateurs. Si l'on se libérait du schéma industriel actuel, l'automobile prendrait une tout autre forme. Il n'y a qu'à voir les concept-cars de designers pour en être convaincu !

A quel moment le designer intervient-il sur un véhicule ?

Longtemps, les ingénieurs ont créé de leur côté un objet en trois dimensions, puis les stylistes se chargeaient de l'esthétique pour apporter un gain d'apparence. Tous connaissent la formule d'Yves Georges, l'un des anciens directeurs des bureaux d'étude de Renault : « *Le rôle du style, c'est d'habiller le bossu !* » Ce concept, pourtant toujours vivace, est obsolète. Aujourd'hui, les designers doivent intervenir au plus tôt, catalyser l'innovation, travailler dès le début avec les ingénieurs à partir de la



CARLOS MUNOZ YAGUE/IN VISU POUR SCIENCES ET Avenir

définition du véhicule. Quel châssis, quelle motorisation, pour combien d'occupants, pour quel usage, en milieu ou haut de gamme ? Tous ces paramètres prédéterminent le choix des composants et leur agencement.

Que vous apporte la 3D dans la création d'une automobile ?

Un beau dessin papier reste un beau dessin que l'on donne à interpréter aux autres. C'est ce que j'appelle une *dead end*, une idée figée. Pour transmettre l'idée, la 3D est devenue de plus en plus pertinente et dynamique. Elle la met en scène dans un scénario, elle la replace dans une expérience globale. Le designer visualise et virtualise une image qui permet à tout le monde de voir le produit final dans son contexte. Ces outils 3D vont exploser, notamment grâce aux jeunes designers qui ont été formés avec.

Comment prendre en compte les contraintes environnementales ?

La voiture du futur connaîtra une totale redéfinition des agencements et des architectures à partir de

nouveaux systèmes de propulsion, hybrides, à hydrogène ou autres. Elle aura de multiples visages, et on va assister à une véritable scission au sein de la population des utilisateurs.

Une scission ?

D'un côté, les conducteurs pour qui la voiture sera une projection de leur identité. On ira, pour eux, vers l'ultrapersonnalisation de l'automobile. Par exemple, une certaine catégorie de population fortunée se paiera une nouvelle technologie (voiture à hydrogène ou en matériaux ultralégers...) pour la tester. On passera de l'ultraluxe d'hier à l'écoluxe.

Et... les autres ?

De l'autre côté, il y aura ceux pour qui l'automobile est simplement une commodité. Au lieu de s'offrir une voiture *low cost*, ils se tourneront vers une auto « service ». Ils « achèteront » un véhicule juste pour la durée d'utilisation. Ce qui évitera de garder une grosse familiale dans son garage pour partir une fois par an en vacances. Ce système permettra aussi le zapping. Un cabriolet l'été, une berline pour aller voir des clients... L'auto « service » est le modèle futuriste par excellence. Mais il reste à faire accepter aux gens de ne plus être propriétaires. C'est difficile, mais envisageable. Quelqu'un qui achète une Logan aujourd'hui a déjà fait sa révolution ! Il a renoncé à l'image que sa voiture véhicule.

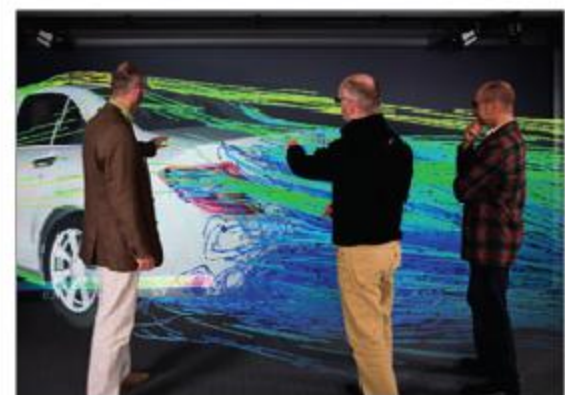
* Directrice du Design 3D chez Dassault Systèmes

●●● reur. Pour sélectionner la meilleure option, les ingénieurs moteurs passent donc leur temps à tester différentes possibilités en termes de puissance, de bruit, d'émissions, sans compter qu'ils doivent répondre à l'exigence actuelle de réduction de la consommation de carburant, en jouant sur un maximum de paramètres (*lire p. 44*).

En amont, le designer intervient. Il doit donner l'esprit du véhicule, penser le design intérieur et extérieur pour rendre le joujou attractif, racé, sympathique, sportif ou familial (*lire interview ci-contre*). La majorité des constructeurs utilisent encore pour cette étape des maquettes physiques, avec de vrais échantillons de vrais matériaux. Pour que le designer puisse toucher, ressentir une émotion au contact d'un cuir, d'un tissu, d'une surface de tôle. Mais, vraisemblablement, cela ne va plus durer très longtemps. « *Nous travaillons sur des systèmes de réalité virtuelle comprenant des lunettes et des gants qui reproduisent le toucher des matériaux* », précise Olivier Sappin.

Crash-test informatique

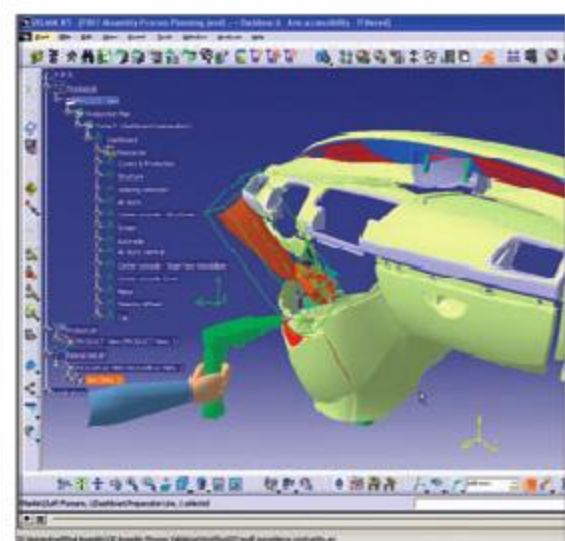
Et puis, il reste aussi à régler un élément sensible, à l'origine de la majorité des plaintes des conducteurs : les circuits électriques et les calculateurs de bord. Au volant de son clavier d'ordinateur, Olivier Sappin nous fait une démonstration. Tous les systèmes embarqués dans le véhicule sont reproduits sur le bureau de l'ingénieur. Olivier Sappin teste un système de parking automatique, déjà monté sur la Lexus (Toyota), capable de faire négocier un créneau à l'automobile sans intervention du conducteur. Le rêve. Olivier Sappin enclenche le système et laisse faire l'électronique de bord. La berline virtuelle recule, s'immisce entre deux voitures garées, une série de bips retentit. « *Est-ce que j'ai le bon braquage des roues ? Mes radars sont-ils bien positionnés ? Si j'ai un mauvais paramètre, je le modifie directement sur mon programme et je refais la simulation jusqu'à que cela fonctionne. C'est le domaine le moins mature de la conception 3D, mais un des plus importants pour l'avenir.* »



MERCEDES



DASSAULT



DASSAULT

Dans un habitacle virtuel, les designers de Mercedes discutent tous les détails du tableau de bord de la Classe C. De leur côté, les ingénieurs calculent la traînée aérodynamique. La chaîne de production est déjà élaborée en 3 D : chaque geste des ouvriers est codifié pour une efficacité maximale.

Ça y est, notre vraie fausse voiture est fin prête. Elle va à présent passer à la moulinette du logiciel Simulia, l'as de la simulation réaliste. Simulia reproduit notamment le crash-test. « Tous les prototypes sont envoyés contre un mur virtuel, commente Olivier Sappin. C'est moins cher que de crasher une vraie BMW Série 7, par exemple, et tout aussi efficace. » Aujourd'hui, les tests de certification de sécurité Euro Ncap se font toujours sur des maquettes physiques. « Mais il n'est pas impossible qu'elles soient éradiquées au profit du numérique. Regardez dans l'aviation, tous les tests critiques se font ainsi désormais. » Autre étape: les tests de conduite. Pour valider la Classe C, les experts de Mercedes l'ont fait rouler sur une succession de routes virtuelles... dont les données proviennent du terrain réel. Soit 2 000 sorties, auxquelles se sont ajoutés 1 500 tests d'obstacles en

tout genre, slaloms, freinages d'urgence. Par ailleurs, des « testeurs », en chair et en os, ceux-là, « conduisent » le prototype numérique grâce au logiciel 3DVIA. Casque de réa-

L'acheteur concevra en direct sa voiture rêvée

lité virtuelle sur les yeux, l'expert reproduit les gestes du conducteur et passe au crible les défauts éventuels. « L'évolution logique serait que le futur acheteur puisse ainsi tester différents modèles. Mieux, il interviendrait en amont de la conception. Il donnerait sa vision de la voiture de ses rêves et pourrait la concevoir quasiment en direct. Aujourd'hui, les constructeurs automobiles ne font qu'interpréter ce qu'ils pensent être le désir des clients. Avec le virtuel, ils vont se frotter à la réalité! »

EN SAVOIR PLUS

www.3ds.com
le site de Dassault Systèmes
www.3dvia.com/home.php
le rendez-vous des amateurs de création 3D

Il ne reste plus qu'à construire le nouveau bolide. Olivier Sappin lance Delmia, un logiciel complémentaire d'aide à la fabrication industrielle. Devant nous, un ouvrier aux allures de bonhomme Playmobil va chercher à petits pas une pièce du tableau de bord et l'encastre en bonne place à l'intérieur du véhicule. Nous voici projetés dans une usine virtuelle. Dassault Systèmes modélise au centimètre près les chaînes de montage, l'ordre, la place et l'activité de chaque ouvrier. Car là non plus, il n'est pas question de lambiner. Toyota l'a bien compris: désormais, toutes ses chaînes de montage sont entièrement conçues avec ce système. Le nouveau prototype sort de son usine virtuelle. Le grand voyage immobile s'arrête là. Quant à nous, nous regagnons la capitale, dans une voiture et des embouteillages bien réels cette fois... ELENA SENDER

Pour concilier performances et économies d'énergie, les voitures essence et diesel sont soumises à une véritable « chasse au gaspi ».

Moteurs classiques : de plus en plus sobres

Programme Eco2 chez Renault et Dacia, gamme Ecocitoyenne de Fiat, labels Ford Econetic, Blue Lion chez Peugeot : en quelques mois, plus d'une vingtaine de modèles de voitures à moteur thermique classique sont apparus sur le marché dans des versions écolo, très économes en carburant. Lors du dernier salon de Genève, début mars, la tendance s'est confirmée, avec des projets stupéfiants. Tel ce prototype, présenté par Volkswagen, qui ne consomme qu'un litre d'essence aux 100 kilomètres.

Il ne faut pourtant pas s'y tromper. Rien à voir avec une époustouflante réactivité technologique face à la flambée du prix du pétrole ou aux préoccupations liées à l'effet de serre. Les technologies étaient prêtes, et chaque constructeur avait dans ses cartons au moins un prototype et un concept-car. Mais réduire la consommation d'un véhicule implique de le doter de dispositifs annexes souvent complexes. Or ces ajouts ont un coût, que le consommateur n'est pas forcément prêt à payer, sauf s'il lui apparaît clairement qu'il rentabilisera son investissement. Exemple : l'engouement pour les voitures diesel dans les années 1980 (plus de la moitié des ventes aujourd'hui) était essentiellement lié au prix moindre du gasoil à la pompe.

Cette fois, le coup de pouce est sans doute venu de l'instauration, en janvier 2008, du bonus-malus lié aux émissions de CO₂ et autres gaz à

effet de serre. Car une voiture qui consomme peu est une voiture qui rejette peu de CO₂ (voir p. 72). Pour prendre deux véhicules comparables, une Citroën C1 consomme seulement 4,6 l/100 km en moyenne et ne rejette que 109 g de CO₂ au kilomètre. Tandis que sa grande sœur, la C3, consomme dans les mêmes condi-

tions d'utilisation 6 l/100 km et émet 140 g de CO₂ au kilomètre.

Reste que, pour économiser le carburant sur les voitures à moteur thermique traditionnel, la marge de manœuvre est de plus en plus serrée. Les plus gros progrès ont déjà été réalisés après le premier choc pétrolier de 1975. Jusqu'à là, ●●●

Des détails qui comptent

Une voiture est un système clos sur le plan énergétique. Inutile d'améliorer le rendement du moteur si son aérodynamisme, ses pneus ou ses équipements, toujours plus nombreux, ne sont pas également optimisés. Que la dépense soit mécanique, électrique ou liée à des frictions, elle pèse toujours sur la source d'énergie de base, à savoir le carburant. C'est l'addition d'une multitude de petits efforts qui permet un gain significatif sur l'ensemble.

LES FEUX

Pour 100 W utilisés (phares allumés), la consommation augmente d'environ 0,1 litre/100 km. L'emploi d'ampoules à haut rendement, lames au xénon pour les phares et diodes électroluminescentes pour les clignotants et autres feux, minimise la consommation.

LE CALCULATEUR DE CONTRÔLE MOTEUR

Il fixe le juste équilibre entre puissance et consommation. Le calculateur utilise des sondes (nombre de tours, composition des gaz d'échappement, position de l'accélérateur, etc.) afin de régler l'injection de façon optimale.



LA CLIMATISATION

La climatisation consomme environ 2 kW. Cette puissance est fournie par le moteur et se répercute donc sur sa consommation. Optimiser les flux dans l'habitacle évite que des « poches d'air » chaudes ou froides ne se forment, ce qui nuit à l'efficacité de la climatisation et à son rendement.

LA BOÎTE DE VITESSES

La boîte automatique robotisée, gérée par des actionneurs électriques, optimise le régime moteur. Mieux, le CVT (Continuously Variable Transmission) offre une infinité de vitesses. Le moteur travaille à régime constant dans des conditions de rendement optimales.

L'AÉRODYNAMISME

Une petite voiture à 100 km/h dépense 7 kW pour vaincre la résistance de l'air. Modélisation numérique et essais en soufflerie conduisent à de nouvelles formes. Ce ne sont pas forcément les courbes les plus douces les plus efficaces. Un hayon arrière abrupt, par exemple, favorise l'aérodynamisme.



LE RÉGULATEUR DE VITESSE

Enchaîner les accélérations et les ralentissements entraîne une surconsommation. Le régulateur, ou stabilisateur, de vitesse assure une vitesse constante, ce qui a pour effet d'éviter les pics de consommation.

LE POIDS

Plus une voiture est lourde, plus les accélérations ou la moindre côte sollicitent de l'énergie. Nouveaux matériaux (fibre de carbone ou composites, association de polymères et de fibres) offrent une résistance similaire à celle de l'acier pour une masse très inférieure.

LES PNEUS

Pour vaincre les frottements des pneus, une petite voiture à 100 km/h dépense environ 3 kW. Le défi est de concevoir des pneus offrant une bonne adhérence tout en présentant une faible résistance à l'avancement. Sculptures de la bande de roulement, composition des gommages et carcasses : autant de domaines de recherche. De plus, pour éviter qu'un gonflage inadapté compromette les performances, des manomètres, intégrés aux valves de gonflage, transmettent par liaison radio la pression au tableau de bord.

Comment rendre un moteur économe?

FACILITER LA COMBUSTION

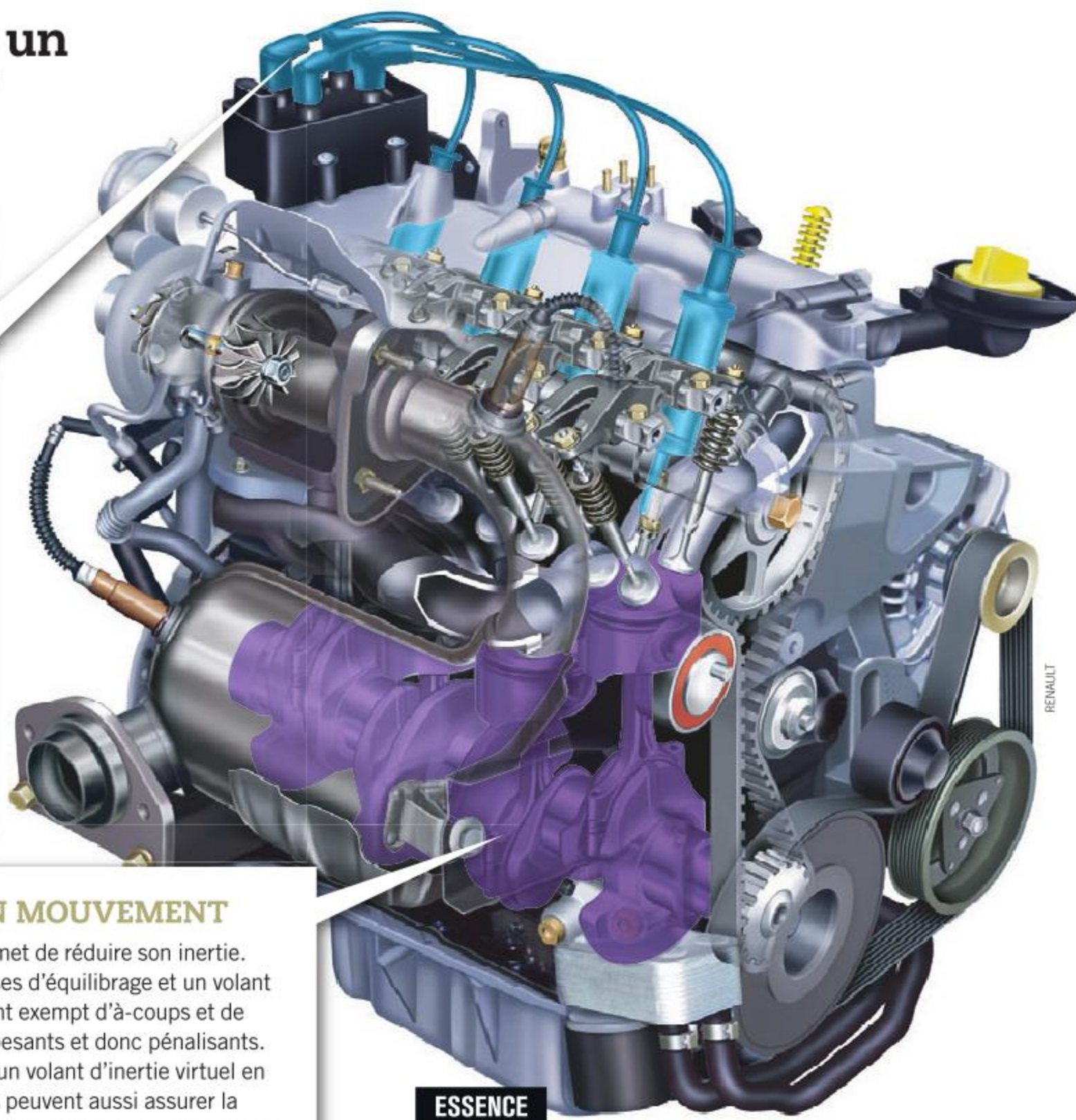
L'aérodynamisme des chambres de combustion favorise celle-ci, en facilitant sa propagation.

La charge stratifiée consiste, à faible régime, à concentrer le mélange autour de la bougie et remplir le cylindre d'air, ce qui permet de limiter la quantité de carburants brûlés: le gain est de 40% dans les bouchons.

Les moteurs CAI (Controlled Auto Ignition) fonctionnent comme des diesels à forte puissance, et récupèrent en outre la chaleur des gaz d'échappement. Une technologie encore expérimentale.

RÉDUIRE LES MASSES EN MOUVEMENT

L'allègement des pièces du moteur permet de réduire son inertie. Sur les moteurs traditionnels, des masses d'équilibrage et un volant d'inertie garantissent un fonctionnement exempt d'à-coups et de vibrations. Mais de tels éléments sont pesants et donc pénalisants. Les alerno-démarrateurs, légers, créent un volant d'inertie virtuel en assistant le moteur aux bas régimes. Ils peuvent aussi assurer la fonction de « start and go »: arrêt du moteur aux feux rouges ou dans les bouchons et redémarrage immédiat.



●●● il était considéré comme acceptable qu'une voiture engloutisse une quinzaine de litres d'essence aux cent kilomètres. Gestion électronique du moteur, injection et optimisation de la combustion ont permis d'atteindre les valeurs actuelles: soit 7 à 8 litres aux 100 kilomètres sur route pour une voiture familiale.

Baisser cette consommation devient de plus en plus difficile. Car le rendement du moteur (*lire les repères ci-contre*) est plafonné par les limites qu'imposent les lois de la thermodynamique. Même les moteurs diesels ont bien du mal à dépasser les 40%. Les dernières améliorations visent donc à maintenir le rendement du moteur au plus haut quelle que soit la puissance voulue.

REPÈRES

Le rendement de tout système est un rapport qui précise la quantité d'énergie qu'il délivre par rapport à celle qu'il consomme. Lorsqu'on dit qu'un moteur électrique possède un rendement de 90%, ceci signifie que s'il consomme 100 watts, la puissance mécanique qu'il restituera sera de 90 watts. Les 10 watts restants sont perdus (ici sous forme de chaleur).

Les moteurs diesels offrent un meilleur

rendement que les moteurs à essence. A masse identique, le gazole est en effet plus énergétique que l'essence. Et la combustion est plus facile à maîtriser.

Un moteur de voiture de 100 ch, soit 75 kW (75 000 W), avec un rendement de 40%, consomme 187 kW, soit à peu près la puissance d'une dizaine de maisons équipées en tout-électrique, y compris le chauffage, en plein hiver.

Première méthode, assez radicale: lui interdire de travailler aux régimes où le rendement est le plus médiocre. C'est le domaine par excellence de l'électronique, qui permet de limiter la puissance à certains régimes. La célèbre Lupo, de Volkswagen, ne consommait ainsi que 3 litres aux cent kilomètres lorsque le mode économique était sélectionné. Cependant, la gestion de ce type de dispositif oblige le chauffeur à adopter un style de conduite adapté: accélérations modérées, passage des vitesses le plus rapide possible..., qui peut donner la sensation d'une voiture molle.

Autre solution: réduire l'inertie, le nombre et les frottements des pièces en mouvement dans le moteur. Récemment sont apparues des voi-

MIEUX DOSER LE CARBURANT INJECTÉ

Le **common rail**, ou rampe commune, remplace le circuit d'injection traditionnel. Ce tube stocke le carburant, qu'une pompe à très haute pression délivre à proximité des injecteurs pour obtenir une vaporisation très fine, plus efficace.

Les **injecteurs** piézo-électriques dosent parfaitement la quantité de carburant de chaque injection.

GÉRER LES SOUPAPES

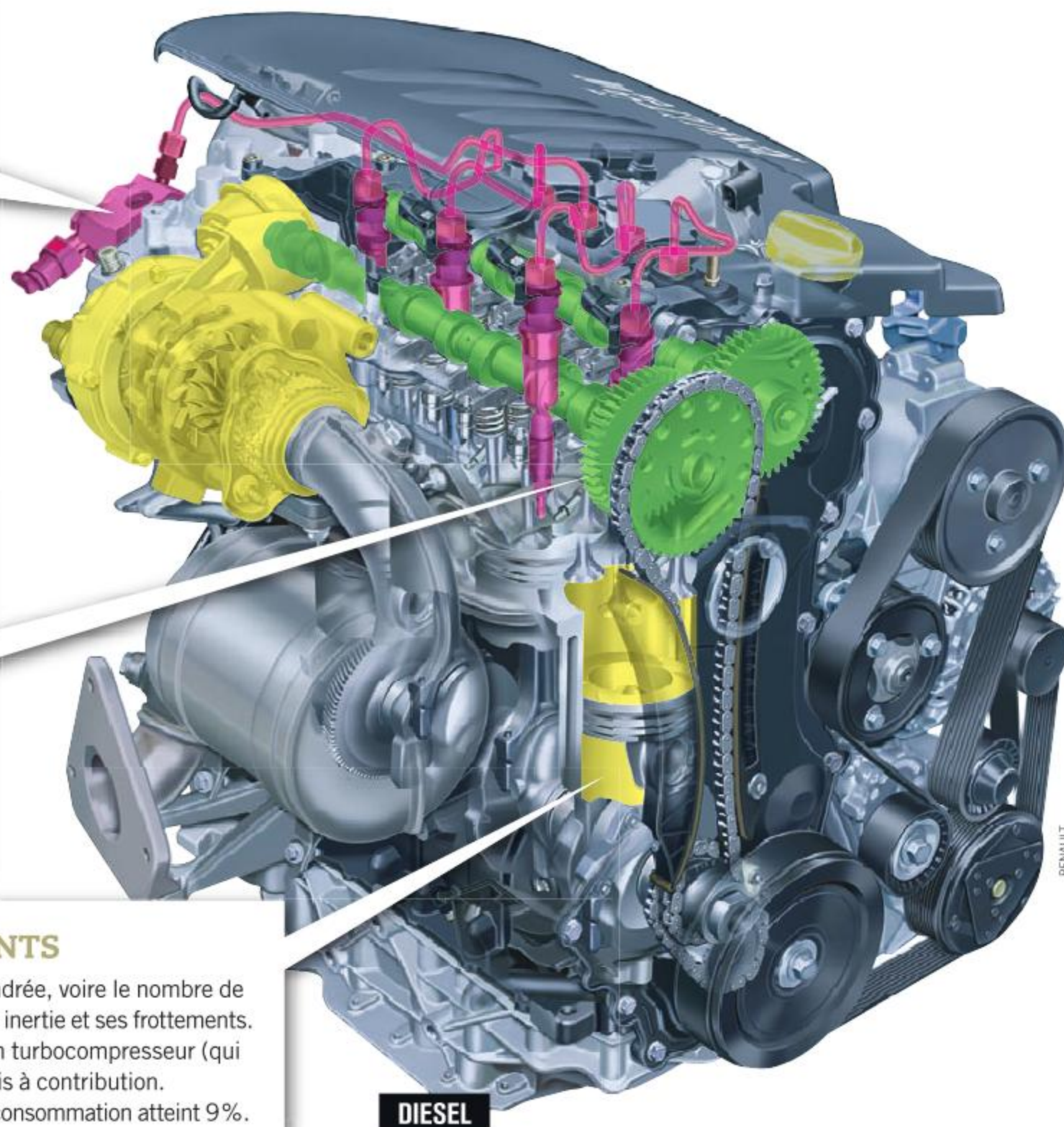
Le **décaleur d'arbre à cames** avance, ou retarde, l'ouverture, la fermeture et la levée (amplitude d'ouverture) des soupapes en fonction du régime moteur.

A terme, l'arbre à cames pourrait laisser la place à des soupapes animées par un électro-aimant.

RÉDUIRE LES FROTTEMENTS

Le **downsizing** consiste à réduire la cylindrée, voire le nombre de cylindres d'un moteur, pour diminuer son inertie et ses frottements. Pour lui conserver ses performances, un turbocompresseur (qui comprime davantage le mélange) est mis à contribution. A performances équivalentes, le gain de consommation atteint 9%.

Les **huiles**, toujours plus efficaces, contribuent grandement à la réduction des frottements.



tures dotées de trois cylindres au lieu de quatre: Toyota Aygo et Yaris II, Skoda Fabia, Volkswagen Polo, Seat Ibiza, Smart Fortwo, Citroën C1, Peugeot 107... Pour leur conserver des performances comparables à celles de leurs aînées, on leur a adjoint un turbo et une injection électronique précise. Des moteurs à la cylindrée de 1,4 l offrent ainsi un comportement similaire à celui de moteurs 1,9 l, tout en présentant une réduction de consommation d'environ 10 %, en cycle urbain notamment. C'est ce que l'on appelle *downsizing*, ou réduction de taille. Plus efficace encore, pour les moteurs à essence: adapter leur mode de fonctionnement selon le régime ou la puissance demandée. Sur un moteur classique, lorsque la

bougie enflamme le mélange, la combustion ne se propage que progressivement à l'ensemble du cylindre. De nouvelles technologies permettent, à pleine puissance, de faire fonctionner ces moteurs à essence comme des diesels: dans ce cas, le

Objectif: un litre aux 100 kilomètres

mélange fortement comprimé s'enflamme instantanément, par un auto-allumage facilité, de surcroît, par la récupération des gaz d'échappement. Une technologie encore expérimentale qu'ont récemment présentée Mercedes sur son moteur F700 – un concept-car – ou d'autres

constructeurs, comme Renault, sous l'appellation CAI, pour Controlled Auto Ignition. Mais optimiser le moteur ne suffit pas. Car une fois la phase d'accélération passée, sa puissance est consacrée à vaincre la résistance à l'avancement de la voiture et à fournir l'énergie aux équipements de sécurité et de confort. L'ajout d'airbags, renforts latéraux, autoradio, GPS, équipements vidéo... a considérablement accru le poids des voitures. La climatisation, les feux sont gourmands en énergie. Les laboratoires de recherche se concentrent donc sur la mise au point de matériaux futuristes et de systèmes de régulation performants. La chasse au gaspi est ouverte !

HENRI-PIERRE PENEL

Les carburants ont-ils un futur ?

Huiles végétales, gaz, déchets agricoles, microalgues... La recherche explore toutes les pistes pour faire face à la fin annoncée des énergies fossiles.

Un pétrole toujours plus rare et cher; des réglementations qui durcissent les normes anti-pollution: les carburants sont au centre des défis auxquels est confrontée l'automobile. Car le secteur qui émet le plus de CO₂ en France (26 % des rejets) est bien celui des transports. Actuellement, le taux moyen de gaz à effet de serre émis par une voiture est de 150 g de CO₂ par kilomètre. En 2012, il ne devra pas dépasser 120 g. Quant au soufre présent dans les carburants, l'objectif est de 10 ppm en 2009. Leur teneur en composés aromatiques doit, elle, être inférieure à 35 %.

Première voie: l'amélioration des carburants conventionnels. « On a réduit la quantité de soufre des carburants de 3000 ppm à 10 ppm en vingt ans », précise Xavier Montagne, directeur scientifique adjoint de l'Institut français du pétrole

(IFP). Parallèlement, d'autres filières se développent. Très en vogue, les biocarburants, plus précisément agrocarburants (1). Labellisés « verts » par les pétroliers et l'industrie agricole, ils sont aujourd'hui très critiqués (*lire ci-contre*). Plus prometteurs: le gaz, et surtout le biogaz, tiré de la transformation de nos déchets ménagers; ou encore les carburants de synthèse, obtenus à partir de biomasse. Deux filières encore à leurs balbutiements.

Alors, quel carburant pour le futur? L'alter-carburant idéal ne concurrencerait pas les produits alimentaires; sa matière première serait facilement accessible, son taux d'émissions de gaz à effet de serre et de polluants très bas. Autant dire le Graal. D'autant que les défis ne sont pas seulement technologiques. Les enjeux financiers sont énormes, les lobbies politiques et professionnels puissants.

En attendant, fin 2007, un sondage de la Banque mondiale et de l'Union internationale pour la conservation de la nature, réalisé auprès de 1000 experts dans une centaine de pays, a donné un classement par ordre de préférence de 18 technologies permettant de réduire les émissions de carbone dans l'atmosphère. Alors que le solaire, l'hydrogène et autres énergies renouvelables raflent les premières places, les biocarburants actuels se retrouvent au dernier rang, ceux de la seconde génération, vers les 8^e et 9^e. Reste une « filière », rarement abordée: le renoncement à un état d'abondance où la consommation de carburant irait croissant.

AZAR KHALATBARI

1. Peu employé, ce terme évite la confusion avec les produits bénéficiant du label bio et souligne l'implication des groupes agroalimentaires dans cette filière.



L. VILLERET/DOLCE VITA/PICTURETANK

Biocarburants Pas si verts...

Gérer les excédents de l'agriculture tout en réduisant à la fois facture pétrolière et gaz à effet de serre? C'est le séduisant tour de passe-passe que promettent les biocarburants.

Fabriquer un combustible à partir de végétaux dispense en effet de puiser dans les hydrocarbures fossiles du sous-sol. De plus, au cours de leur croissance, les végétaux absorbent le CO_2 atmosphérique, qu'ils stockent. Une fois transformés en carburants, ils libèrent ce qu'ils ont auparavant fixé: en théorie, ils ne feraient donc que rendre à l'atmosphère ce qu'ils lui ont emprunté. Mais en pratique, on le verra, ce schéma idyllique dérape.

La vogue des biocarburants a commencé au Brésil en 1975, après le choc pétrolier. Ils devaient alors assurer l'indépendance énergétique du pays. En Europe, ils n'ont pris leur essor qu'à partir de 1992, avec l'adoption de la Convention climat au sommet de Rio. Aujourd'hui, après le Brésil et les Etats-Unis, c'est la région du monde qui en produit le plus, même s'ils ne représentent que 1,2 % des carburants utilisés pour le transport. Mais la production croît de 15 % par an depuis 2005, notamment sous l'impulsion des agriculteurs organisés en puissantes associations.

En France, deux produits sont aujourd'hui commercialisés, le bioéthanol qui se mélange à l'essence, le biodiesel qui s'immisce dans le gazole. Le bioéthanol utilise le sucre provenant des plantes à amidon (blé, maïs, pommes de

terre) ou des betteraves et cannes à sucre. Sa fermentation produit un alcool, l'éthanol, qui est directement mélangé à l'essence, jusqu'à 85 % dans le carburant E85 actuellement commercialisé. Son utilisation nécessite une adaptation du véhicule à la technologie « flex-fuel », qui renchérit son coût. Mais, pour le consommateur, le principal handicap du bioéthanol est son réseau de distribution réduit: des 500 stations promises pour fin 2007, seules 186 existent. L'Union française des industries pétrolières (Ufip) faisait d'ailleurs récemment part de ses réserves sur l'essor de la filière.

Quant au biodiesel, il nécessite un procédé de fabrication plus complexe, à base d'huile extraite du colza, du tournesol ou du soja. Cette huile subit une réaction chimique avec du méthanol, la « transestérification », pour deve- ●●●

EN SAVOIR PLUS

Pour la carte d'implantation des pompes E85 en France : www.roulonspropres-roulonsnature.com/implantation/

●●● nir un ester d'huile végétale qui se mélange au gazole. Pas besoin d'adapter le moteur, ni de mettre en place un réseau de distribution. D'ailleurs, le gazole actuel comporte souvent du biodiesel à hauteur de 3 %. Mais le maximum que l'on puisse ajouter au carburant fossile est de 30 %.

Face à ces limites techniques, les enjeux environnementaux sont colossaux. Car la filière des biocarburants, depuis la culture jusqu'à la combustion en passant par la mise sur le marché, soulève des questions fondamentales. La première est le détournement des terres arables censées nourrir les populations. Cette compétition avec les produits alimentaires a déjà provoqué ailleurs dans le monde la flambée des prix de denrées alimentaires de base (*voir l'interview ci-contre*). Gourmandes en eau, les cultures céréalières risquent par ailleurs d'épuiser des réserves déjà comptées pour une partie de la planète. Et d'entraîner une déforesta-

Pour faire rouler l'ensemble du parc français au tournesol, 86 % du territoire national devrait y être consacré.

tion au Brésil et en Asie du Sud, les principaux producteurs.

Autre problème – et c'est un comble! –, le bilan des gaz à effet de serre émis par les biocarburants n'est pas si clair. Les «bilans CO₂», réalisés en 2002 par la société Eco-bilan pour la DGEMP (Direction générale de l'énergie et des matières premières) et l'Ademe (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie) devraient être revus à la hausse dans le rapport

2008. «*Il faut mettre au point une méthode de calcul homogène et fiable*», explique Etienne Poitrat, de l'Ademe. Le débat porte sur la manière de calculer la quantité de gaz à effet de serre rejeté lors de la combustion: par unité de masse de biocarburant brut ou par unité d'énergie disponible. Le taux de CO₂ émis par kilogramme de carburant n'équivaut pas forcément à la quantité de CO₂ émis par mégajoule disponible. Une tonne de

Le Nobel, l'azote et le biocarburant

En septembre 2007, le prix Nobel de chimie Paul Crutzen annonce que les biocarburants émettent autant de gaz à effet de serre que les carburants traditionnels (1). En effet, la culture intensive de ces plantes nécessite beaucoup d'engrais azotés qui, une fois dans le sol, dégagent du protoxyde d'azote (N₂O), un gaz à effet de serre qui possède un pouvoir réchauffant 296 fois plus important que le CO₂. Le Nobel estime que 3 à 5 % de l'azote des fertilisants se retrouve sous forme de protoxyde d'azote dans l'atmosphère. Il se fonde sur l'étude des bulles d'air emprisonnées dans les

glaces de l'Antarctique, qui montre une augmentation dans l'atmosphère de 25 % du protoxyde d'azote depuis le début de l'ère industrielle. Pour lui, l'explication la plus probable est la généralisation de la culture intensive. Une interprétation critiquée par les professionnels du secteur. «*Il y a beaucoup d'autres sources: putréfaction d'éléments organiques dans les marais ou décomposition des matières organiques, à commencer par les déjections animales*», souligne Jacques Barbier, directeur de la société Valagro (centre de recherche pour la valorisation industrielle des produits agricoles). «*Seul 1 à 2 % de*

l'azote des engrais se retrouve en émanations gazeuses dans l'atmosphère», conclut-il. Alors, 5 % ou 1 %? Pour Didier Hauglustaine, spécialiste de chimie atmosphérique, directeur de recherches au CNRS, cette disparité dans les estimations montre que de nombreux travaux restent à faire pour comprendre le cycle de l'azote – autre puissant gaz à effet de serre. Plusieurs projets européens comme NitroEurope, financé par la Commission, ou Nine, financé par la Fondation européenne de la science, viennent de démarrer.

(1) Publiés dans la revue *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*.

F. COLLIGNON/OSMOS

colza ne produit pas la même quantité d'énergie qu'une tonne de betterave. Surtout, les bilans ne prennent pas en compte les émanations de gaz à effet de serre liés à une culture dopée aux engrais (voir encadré page précédente).

Enfin, les biocarburants pourraient être source de pollution. Ils dégagent en effet des composés qui favorisent l'augmentation de l'ozone, et donc du « smog » des villes, responsable d'affections respiratoires: Mark Jacobson, de l'université de Stanford (Californie), estime que le nombre de décès dus à la pollution augmenterait de 4 % à l'horizon 2020 si tout le parc automobile des Etats-Unis roulait au bioéthanol (1). Ils ont aussi un impact indirect sur les cours d'eau, comme vient de le montrer une étude publiée dans les *Annales de l'Académie nationale américaine des sciences* (PNAS) qui révèle l'apparition d'une « zone morte » dans le golfe du Mexique: une étendue d'eau sans oxygène, dans laquelle aucune vie ne peut prospérer. Explication: les engrais azotés utilisés dans la culture intensive du maïs favorisent le développement d'algues qui, en se décomposant, absorbent l'oxygène de l'eau. La production croissante d'éthanol à partir du maïs menacerait l'écosystème du golfe.

Face à tant d'objections, l'Union européenne, qui avait fixé un objectif de 10 % pour la part de biocarburants dans les transports d'ici 2020, envisage de revoir à la baisse ses ambitions. Quant aux experts, ils estiment qu'il faut rapidement développer les « biocarburants de seconde génération », obtenus par synthèse à partir de matériaux ligno-cellulosiques – tiges, feuilles, paille, copeaux de bois... – qui n'entreraient pas en concurrence avec la production alimentaire (*lire p. 53*). Mais cette filière est encore au berceau. Malgré la montée des inquiétudes, le gouvernement français, qui a donné en 2006 une forte publicité au bioéthanol en créant un groupe de travail présidé par Alain Prost, a réaffirmé sa décision d'incorporer aux carburants traditionnels 7 % de biocarburants à l'horizon 2010, 10 % en 2015.

1. Dans *Environmental Science & Technology*, avril 2008.

« 1,2 milliard de personnes connaîtront la faim en 2025 »

Le rapporteur spécial des Nations unies pour le droit à l'alimentation a demandé un moratoire sur la production des biocarburants actuels. Sans succès.

Pourquoi le droit à l'alimentation est-il menacé par les agrocarburants ?

Selon les estimations de l'Institut international de recherche sur les politiques alimentaires, les prix vont augmenter considérablement à brève échéance si la production d'agrocarburants augmente. D'une manière générale, le nombre de personnes souffrant de sous-alimentation croît de 16 millions chaque fois que le prix réel des aliments de base croît de 1 %.

Or, l'institut prévoit une augmentation de 20 % du prix du maïs sur le marché international d'ici à 2010 et de 41 % d'ici à 2020. Les prix des oléagineux, en particulier du soja et des graines de tournesol, pourraient augmenter de 26 % d'ici à 2010 et de 76 % avant 2020, et ceux du blé de 11 % puis de 30 %. Cela signifie que d'ici à 2025, 1,2 milliard de personnes connaîtront la faim.

Comment se pose la question à l'échelle mondiale ?

Actuellement, la production d'agrocarburants est dominée par un continent – les Amériques – et par un type de carburant, le bioéthanol, essentiellement extrait du maïs ou de la canne à sucre. Les Etats-Unis ont doublé leur production de bioéthanol au cours des cinq dernières années et devancé le Brésil, devenant le plus grand pays producteur. Le Brésil, de son côté, a produit plus de 12 millions de tonnes



M. TREZZINI/EPN/SIPA

d'éthanol en 2006 et entend rester un des grands du marché mondial dans les vingt prochaines années. Et tout indique que cette tendance va s'accroître: en mars 2007, les présidents des Etats-Unis et du Brésil ont en effet signé un accord par lequel ils s'engagent à accroître leur production de bioéthanol.

À titre de comparaison, la production de l'Europe, qui est de 3,5 millions de tonnes, est encore relativement faible. Les objectifs affichés par les deux géants du continent américain font que nous allons nous retrouver dans une situation de monopole. Et l'enjeu est énorme, puisque la mobilisation des terres agricoles concerne des denrées alimentaires de première nécessité comme le maïs et le sucre.

Les raisons climatiques suffisent-elles pour expliquer cet engouement pour les agrocarburants ?

La nécessité de contrer le

réchauffement planétaire n'est qu'un des aspects de cette fièvre. Il en cache un autre: la nécessité stratégique pour certains gouvernements de réduire leur dépendance à l'égard du pétrole, dans un contexte de lutte antiterroriste. Ainsi, selon le rapport de la Banque interaméricaine de développement (1), l'Amérique latine sera le nouveau Moyen-Orient, une situation préférable pour les Etats-Unis à cause de leur proximité avec cette région et de sa stabilité politique. Autre facteur important: les pressions exercées par le complexe agro-industriel, qui compte tirer profit d'une augmentation rapide de la production d'agrocarburants. À mesure que les cours du pétrole augmentent, ils sont en effet de plus en plus intéressants par rapport aux produits alimentaires.

(1) Lire Marcela Sanchez, « Latin America – the “Persian Gulf” of biofuels? », *Washington Post*, 23 février 2007.



Citroën est le seul constructeur français à s'être risqué sur le marché des voitures particulières au gaz naturel pour véhicule.

Gaz de ville

Le rendez-vous manqué

Lorsqu'on évoque le gaz en matière de carburant, on pense GPL, ou gaz de pétrole liquéfié, un mélange de butane et de propane dont l'intérêt est de réduire les émissions de polluants, mais dont le bilan CO_2 est aussi médiocre que celui de l'essence.

Mais le gaz du futur sera peut-être celui de notre gazinière de cuisine... C'est la filière proposée depuis une dizaine d'années par Gaz de France, qui a cependant du mal à s'imposer, peut-être parce que les constructeurs français n'ont pas développé les moteurs adéquats. Le méthane qui circule dans le réseau urbain de distribution de gaz provient certes du sous-sol et puise dans les réserves d'énergie fossile de la planète, mais c'est l'hydrocarbure qui émet le moins de CO_2 , avec un gain de 23 % des émissions par rapport à l'essence ordinaire et quasiment pas de polluants secondaires. Pour devenir carburant, le gaz naturel de ville doit être comprimé à 250 bars.

EN SAVOIR PLUS

Un site très pédagogique : www.roulezgnv.com/

Alors, deux solutions : soit s'équiper d'un compresseur à domicile, soit faire le plein à une station. Sauf que... le plein chez soi n'est pas donné à tous : il faut disposer d'une maison individuelle, pour des raisons de sécurité. Et de temps : le compresseur doit fonctionner toute la nuit. Autre contrainte : les véhicules roulant au gaz de ville emportent à bord des bouteilles qui occupent le coffre à bagages. Pour les modèles récents de Fiat, Volvo et Opel, le gaz est placé sous le plancher. Quant à trouver une station labellisée GNV (gaz naturel pour véhicule), il faut s'armer de patience : il n'en existe qu'une trentaine en France, contre plus de 800 en Allemagne et 700 en Italie. Total et Carrefour se sont engagés à implanter au moins 300 stations d'ici 2010... « La filière GNV est surtout utilisée pour certains marchés : transports publics, collecte des ordures... », précise Alain Morcheoine, de l'Ademe.

Mais le méthane est aussi le gaz de putréfaction de nos ordures ménagères et de toute matière organique en l'absence d'oxygène : déjections animales, boues de stations d'épuration, épluchures... Un quart de nos déchets pourrait ainsi devenir de l'or vert. L'équation aurait donc sa solution toute trouvée : la valorisation des déchets organiques. Cette filière, appelée biogaz, permet de gagner sur les deux tableaux : préservation des ressources en hydrocarbures et baisse des émissions de CO_2 . Elle est testée au sein de l'usine pilote de Sequedin, à côté de Lille, dans le cadre du projet européen Biogasmax qui a été inauguré fin 2007 et qui concerne cinq villes européennes. A terme, 108 600 tonnes de biodéchets devraient être transformées en 34 000 tonnes de compost et 4 millions de mètres cubes de biogaz-carburant, l'équivalent de 4 millions de litres de gazole, soit la consommation annuelle de 100 autobus.



H. RAQUET/LOOK AT SCIENCES

Lancé en 2006, le projet français Shamash a pour objectif de produire un carburant à partir de microalgues.

Carburants de synthèse

Les promesses de la biomasse

Fabriquer un carburant pur à partir d'un hydrocarbure plus abondant que le pétrole : c'est la possibilité qu'offre la filière des carburants de synthèse. Une vieille histoire qui commence au cours de la Seconde Guerre mondiale, en Allemagne, où la demande d'énergie est très forte. Les ingénieurs allemands ressortent alors la géniale invention de deux chimistes, Franz Fischer et Hans Tropsch, qui avaient mis au point en 1925 un procédé permettant d'obtenir un hydrocarbure à partir de monoxyde de carbone (CO) et d'hydrogène, le tout en présence d'un catalyseur, fer ou cobalt, souvent. De quoi convertir du charbon ou du gaz en carburant de synthèse (CTL, pour « Coal to Liquid », ou GTL, pour « Gas to Liquid »).

La méthode a été surtout utilisée par des pays qui disposaient de ressources en gaz et en charbon et se trouvaient isolés politiquement : ainsi, dans les années 1950, l'Afrique du Sud, confrontée à un blocus pétrolier à cause de l'apartheid, a largement développé le procédé. Ailleurs, les carburants de synthèse se sont retrouvés en compétition avec ceux issus du pétrole. « Dans le passé, le coût de fabrication du

CTL et du GTL ne les rendait pas compétitifs avec le pétrole... et leur niveau global d'émissions de CO₂ est assez défavorable, notamment pour le CTL », explique Xavier Montagne, de l'IFP. Aujourd'hui, avec l'envolée du prix du pétrole, ces produits se repositionnent sur le marché comme des substituts éventuels aux carburants conventionnels.

Mais, si le procédé Fischer-Tropsch apparaît aujourd'hui comme le champion de la lutte contre les gaz à effet de serre, c'est grâce au BTL, soit « Biomass to Liquid », qui pourrait fournir, vers 2020, un biocarburant de deuxième génération. « Les déchets agricoles, le bois et les copeaux en seront la matière première, poursuit Xavier Montagne. Un tel carburant aura un bilan de CO₂ global, depuis l'extraction jusqu'à la combustion, très intéressant : un gain de 90 % par rapport aux carburants conventionnels. » Cette voie « thermo-chimique » du BTL présente beaucoup d'atouts par rapport aux biocarburants classiques : sa matière première ne concurrence pas les filières alimentaires. Il ne nécessite que peu d'engrais azotés et de carburant pour les engins agricoles qui labourent et travaillent le terrain. Seul hic : dans l'état actuel des recherches, le rendement de cette filière doit être amélioré. Il faut une tonne de matière sèche pour 0,2 TEP de biocarburant. Le développement de cette filière BTL nécessite de nouvelles ressources de biomasse, par exemple des taillis à coupe rapide. Par ailleurs, de nombreux laboratoires de recherche travaillent sur des algues pour produire de la biomasse, sur des micro-organismes, des bactéries, des termites pour les transformer... En la matière, l'imagination est encore sans limite.

Repères	Carburant	Emissions de CO ₂ en grammes par mégajoule	Les plus	Les moins
	Essence/gazole	85,9 pour l'essence 79,3 pour le gazole	Maîtrise totale du processus et du réseau de distribution	Réserves limitées Emissions de gaz à effet de serre
	Biocarburants	– 70 % par rapport à l'essence/gazole	Gain sur les émissions de gaz à effet de serre, même si le bilan est difficile à établir	Concurrence avec les produits alimentaires
	Gaz naturel de ville ou GNV	– 20 % par rapport à l'essence/gazole	Bilan de carbone intéressant	Réseau de distribution très faible
	Biogaz	– 20 % par rapport à l'essence/gazole	Préservation des ressources fossiles	Nécessité d'installations supplémentaires et de tri des déchets
	Carburants de synthèse : CTL, GTL	Supérieures ou égales à l'essence/gazole	Diversification des ressources par rapport à un pétrole cher	Bilan d'émission de gaz à effet de serre défavorable
	Biocarburants de 2 ^e génération (par ex. BTL)	– 90 % par rapport à l'essence/gazole	Pas de concurrence avec la production alimentaire	Procédé en cours de développement



Après avoir détrôné la machine à vapeur, le moteur à combustion interne s'est imposé universellement. En relevant à chaque époque de nouveaux défis.

Le fabuleux destin du moteur à explosion

Depuis plus d'un siècle, le moteur à combustion interne, drôle de machine à convertir directement l'énergie chimique en énergie mécanique, équipe l'écrasante majorité des automobiles, deux-roues, tracteurs et même navires. Un succès planétaire dû à ses performances à ce jour inégalées (*lire pp. 19-21*). Mais aussi à la formidable somme de savoir-faire

accumulée par les inventeurs et ingénieurs, qui ont su l'adapter à de nouveaux défis. Et ce, grâce à la bonne vieille méthode essai-erreur, plus que par des découvertes scientifiques.

1860 Le défi de l'énergie

Contrairement à une idée reçue, le premier moteur thermique de l'histoire ne fonctionne pas avec

de la vapeur. Pour mouvoir son piston, la machine imaginée par le grand savant hollandais Christiaan Huygens et présentée à l'Académie des sciences à Paris en 1673 (1) brûle, directement dans la chambre de combustion... de la poudre à canon! En fait, Huygens demande à cette combustion violente de repousser vers le haut un piston qui, en position haute, dégage deux



LE TEMPS DES SPORTIVES

Un siècle après Watt qui conçoit en 1767 la première véritable machine à vapeur (1), l'automobile devient une réalité. Les pionniers innovent sans cesse, et leurs voitures de course deviennent la vitrine de leur savoir-faire, telles la Phaéton de Panhard et Levassor de 1896 (2), ou cette Bugatti de 1914 (3). Dans les années 1920-1930, les frères Ballot veulent construire des voitures de sport en grande série (4), tandis que Bugatti mise sur le luxe avec sa Bugatti Royale.

KENSTONE/VEDEA

lumières d'échappement pour les gaz brûlés. La pression atmosphérique, mise en évidence par Blaise Pascal dix ans plus tôt, se charge ensuite de repousser le piston vers le bas. Denis Papin, collaborant avec le savant hollandais, reprend le dispositif en l'améliorant. Un beau jour, il a l'idée de remplacer l'explosion de la poudre par la détente de la vapeur d'eau. Comme le précédent, ce moteur est bi-énergie, mi-vapeur, mi-pression atmosphérique. En 1767, le Britannique James Watt en extrapole la première véritable machine à vapeur. Une chaudière chauffée par du charbon produit de la vapeur qui, injectée dans un cylindre, met en branle un piston, dont le mouvement rectiligne alternatif est transformé en mouvement circulaire par le système ancestral bielle/manivelle. La révolution industrielle a trouvé son cheval-vapeur.

Tels les mammifères primitifs maintenus sous le boisseau par le succès évolutif des dinosaures, le moteur à combustion interne attend son heure. Dans les années 1860, l'inventeur Étienne Lenoir met au point et commercialise à

Paris son fameux moteur à combustion interne (2). Dans la chambre de détente d'un moteur à vapeur, il injecte du gaz de ville – désormais disponible « à tous les étages » – qui, mélangé à de l'air, est mis à feu par l'étincelle électrique de l'ancêtre de la bougie automobile. Et ça tourne... cahin-caha ! Plusieurs centaines d'exemplaires de ce moteur à deux temps – 1) admission-combustion, 2) détente-

échappement – et double effet (la combustion a lieu alternativement sur les deux faces du piston) équipent à Paris, avec plus ou moins de bonheur, nombre de petits ateliers qui n'ont ni la place ni les capitaux pour une machine à vapeur. En 1863, Lenoir l'installe même à bord d'une « voiture » à trois roues avec laquelle il met trois heures pour faire l'aller-retour entre la rue de la Roquette et Joinville-le-Pont, soit 18 kilomètres...

On en reste là jusqu'à ce qu'Alphonse Beau, dit Beau de Rochas, théorise le cycle idéal pour un moteur à combustion interne, soit à gaz, soit à pétrole : 1) admission du mélange air-carburant, 2) compression du mélange, 3) mise à feu et détente des gaz de combustion, 4) échappement des gaz brûlés. C'est le fameux « quatre-temps ». Un cycle encore utilisé par l'écrasante majorité des moteurs automobiles d'aujourd'hui, qu'ils soient à essence ou gazole.

En 1876, l'Allemand Nikolaus-August Otto est le premier à réaliser une telle machine. Présenté à l'Exposition universelle de Paris en 1878, son moteur connaît un ●●●

L'AVION AUSSI

Valse à quatre temps

Le moteur à quatre temps à combustion interne, bielles et vilebrequin a fait les beaux jours de l'aviation jusqu'à la fin de la Seconde Guerre mondiale. C'est alors que, brutalement et massivement, il cède la place au turbopropulseur et, surtout, au turboréacteur, beaucoup mieux adaptés au double régime : pleine puissance au décollage puis régime de croisière stabilisé.

L'automobile, elle, doit s'adapter à d'incessantes variations de puissance. Malgré d'innombrables tentatives – turbomachines, moteurs à six temps, à piston à géométrie variable, à boules chaudes, à palettes et autres pistons rotatifs... – que relatent Georges Descombes et Jean-Louis Magnet dans les *Techniques de l'ingénieur* (juillet 1998), le quatre-temps reste fidèle au poste sous les capots.

1

LA PUISSANCE AVANT TOUT

Celle de Bugatti, vainqueur du grand prix de Monaco en 1933 (1), ou de Delage avec sa D8-120 de 1938, à 8 cylindres (2).

2

●●● succès considérable. Tout le monde se met au quatre-temps, y compris Lenoir. On commence à rêver de voitures à pétrole.

1880 Le défi de la fiabilité

À part les équations sur les gaz et les principes de la thermodynamique, bien peu de science pour guider les aventuriers, qui procèdent de façon empirique. Quant à la technologie, on l'a vu, elle repose sur celle de la machine à vapeur. Au début des années 1880 apparaît cependant un moteur digne de ce nom, capable de propulser une automobile. Son inventeur? Karl Benz. Cependant, son cylindre horizontal, son embiellage à l'air libre et son lourd volant d'inertie, qui lui permet de passer sans caler les points morts haut et bas du cycle, le font ressembler encore terriblement à un moteur à vapeur. En revanche, avec ses bielles enfermées dans un carter où son vilebrequin barbote dans de l'huile, ses soupapes à commandes mécaniques, son petit volant d'inertie, le bicylindre en V, l'engin qui lui succède chez Daimler Benz, présente déjà l'architecture générale

de tous les moteurs d'automobiles d'aujourd'hui. En France – patrie de Lenoir et de Carnot! –, la société Panhard et Levassor le fabrique sous licence et Peugeot en équipe ses voitures.

La fiabilité des moteurs devient un enjeu majeur. Les ingénieurs prennent le relais des inventeurs.

1900 Le défi de la puissance

Pour supplanter la traction hippomobile, il faut impérativement au cheval-vapeur (ch) – désormais produit sans chaudière ni vapeur! – augmenter sa puissance. La solution la plus simple, sinon la plus élégante, consiste à faire croître la cylindrée des moteurs. Soit en augmentant le volume unitaire des cylindres, soit en multipliant leur nombre, ou les deux à la fois. Dans son livre *Les Moteurs à essence des origines à nos jours* (3), Michel Crochet constate: «*Les premiers moteurs de Daimler-Benz qui équipaient les Peugeot Type 3 (1891) avaient une cylindrée de 565 cm³ et développaient 3,5 ch... Panhard équipe en 1901 un de ses véhicules (la 24 CV) avec*

un moteur de 5 320 cm³ développant 30 ch. » Cinq fois plus de cylindrée pour... cinq fois plus de puissance. Conclusion, leur puissance spécifique (puissance à cylindrée constante) stagne. C'est l'époque des merveilleux monstres, dont les énormes moteurs se cachent sous des capots interminables. Deux exemples emblématiques de cette course à la puissance par la cylindrée: la Bugatti Royale type 41, et l'Hispano-Suiza modèle H6C. La première, avec son moteur de huit cylindres en ligne de 12 763 cm³, développant 300 ch à 1 700 tours/minute, «tape» les 150 km/h. La seconde, avec son six-cylindres de 7 982 cm³ délivrant 144 ch, est, en 1926, l'inoubliable partenaire mécanique de *L'Homme à l'Hispano* du cinéaste Julien Duvivier.

Pour gagner du terrain, il faudrait pouvoir faire tourner les moteurs plus vite. Mais, en l'état de l'art, quand on augmente le régime, ils cassent ou s'usent à vitesse grand V. Les formidables investissements dans le domaine des matériaux, de l'usinage, des lubrifiants et des carburants consentis lors des deux guerres mondiales seront décisifs.



VERS LA PRODUCTION DE MASSE

Adieu luxe et superpuissance, Bugatti 57 (3) ou Hispano-Suiza (4). Dans la deuxième moitié du ^{xx}e siècle, la voiture devient accessible à tous. Renault domine le marché français dans les années 1950 (5, une Frégate). Citroën révolutionnera l'automobile avec la DS (6, une DS 21 de 1965), concentré d'innovations technologiques.

En 1891, le moteur Benz, à plein régime, plafonnait à 750 tours par minute; en 1950, les moteurs atteignent en moyenne 4 000 tr/min. Aujourd'hui, ils dépassent allègrement les 5 500 tours.

Et puis, les gros moteurs sont onéreux. Une solution : le *downsizing*, en français la réduction de cylindrée, sous-entendu sans perte de performances. À la fin des années 1960, les constructeurs suralimentent de petits moteurs tournant très vite avec les fameux turbos. C'est l'âge insouciant du « vroom! vroom! » pour tous et de l'essence pas chère.

1980 Le défi de la pollution

Mais si l'industrie automobile et les consommateurs y gagnent, les villes sont asphyxiées par les hydrocarbures imbrûlés, le plomb, anti-détonant ajouté à l'essence, les oxydes d'azote, le monoxyde de carbone et les particules crachés par les pots d'échappement. Sous la pression des mouvements écologistes, les pouvoirs publics fixent des normes anti-pollution et annoncent la fin du plomb dans l'essence. Après avoir

crié aux fossoyeurs de l'industrie, le lobby de l'automobile se met au travail et, sans qu'il s'en suive un cataclysme industriel, met au point le pot catalytique. Au fur et à mesure du renouvellement du parc automobile, l'air des villes devient de moins en moins irrespirable.

2008 Le défi de l'effet de serre

Mais, comme toute machine brûlant du pétrole, du charbon ou du gaz naturel, le moteur à combustion interne rejette du CO₂. Or, à la fin du ^{xx}e siècle, les climatologues alertent le public sur les risques globaux des émissions de ce gaz à effet de serre, auxquelles le transport terrestre contribuerait pour 30 %. Et puis, trente ans après le premier choc pétrolier de 1973, se profile le spectre de la panne sèche planétaire. Non seulement le traitement par catalyse des gaz d'échappement des voitures n'a pas d'effet sur le gaz carbonique, mais il a même tendance à renforcer la consommation des moteurs. Et donc, *ipso facto*, leur contribution à l'effet de serre. Pour ces raisons, l'industrie automobile va devoir

drastiquement réduire la consommation de ses modèles. Déjà, l'injection de carburant et l'allumage pilotés par l'informatique, qui tend à se généraliser, rendent les voitures plus sobres. Pour aller plus loin, les hybrides électriques sont une première réponse, encore imparfaite. Mais le thermique pur ne veut pas dire son dernier mot. Grâce à l'informatique et à la thermodynamique de la combustion, « on devrait encore réduire fortement sa consommation », estime Georges Descombes, spécialiste des turbomachines et des moteurs au Conservatoire national des arts et métiers. « Je pense qu'on peut encore diviser par deux la consommation des moteurs à combustion interne », insiste Gaétan Monnier, de l'Institut français du pétrole. L'humanité n'en a peut-être pas fini de vivre au rythme de la valse à quatre temps des pistons!

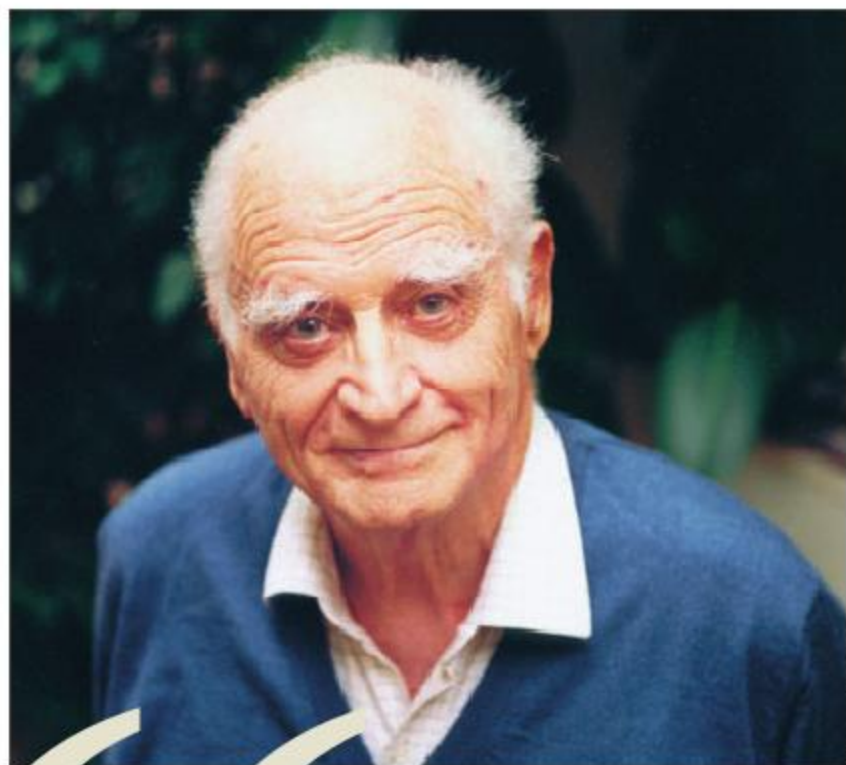
HERVÉ PONCHELET

1. Voir *Les Moteurs à combustion interne*, collection « Une invention dans le texte », textes des inventeurs présentés par Jacques Payen, Éditions Gauthier-Villars, 1964.

2. Serge Picard, « Le moteur Lenoir », *Revue du musée des Arts et Métiers*, n° 16, septembre 1996.

(3) Éditions ETAI, 2007

LOIN D'ÊTRE un simple instrument, l'automobile a façonné notre civilisation. L'homme pourra-t-il reprendre la main ? Regards décalés.



XAVIER ROMÉDER

Michel Serres, philosophe

NOS AUTOMOBILES? DES FOSSILES

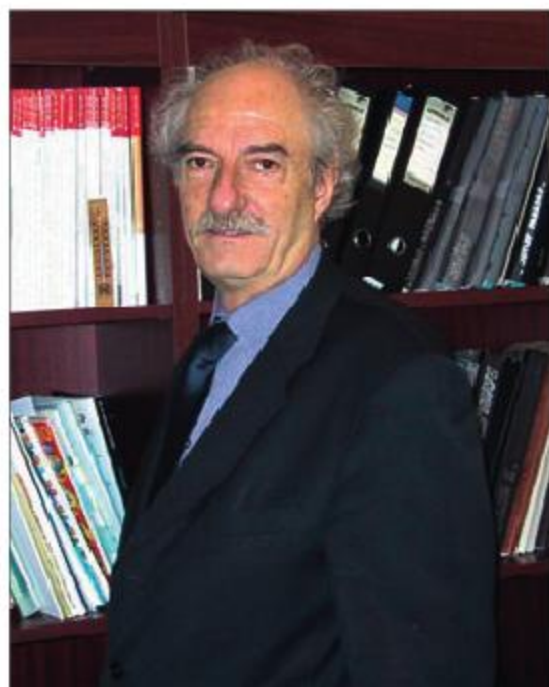
Le cambrien – il y a 500 millions d'années – a vu émerger, chez les vivants monocellulaires mous, des parties dures, sortes de plaques de calcaire pluricellulaires. Des populations sont apparues, munies de toits dont la dureté mit à l'abri leurs parties douces : mollusques aux coques chantournées, armées d'insectes couverts de chitine, sauriens et reptiles émaillés d'écailles... Des centaines de millions d'années après émergèrent des espèces douces dont l'anatomie inversa exactement la dureté précédente. Chair, poils, plumes, duvets..., toutes les parties souples sortirent lentement de ces coques cristallines ou de ces carapaces calcaires et devinrent parfois, à l'intérieur, os, cartila-

ges et squelettes. Ainsi notre corps sut à la longue se faire *doux dehors et dur dedans*. Mais avec nos mains, nous ne pouvons encore fabriquer que du *dur dehors et doux dedans*, à l'image de ces véhicules d'acier qui nous entourent. Tout se passe comme si nous ne parvenions à modeler que des fossiles archaïques...

Regardons passer wagons et locomotives, camions et automobiles, fonctionner grues et bétonnières, s'élever usines et fabriques... tous mous à l'intérieur et d'acier à l'extérieur. Nous voyons défiler – s'entrechoquer quelquefois mortellement – des millions de fossiles, revêtus de cuirasses comme des crustacés, mollusques, arthropodes, insectes et sauriens... Nos automobiles ressemblent à la fois à des animaux conservés ou fossiles et à des armures de guerriers préhistoriques.

Quand saurons-nous produire des techniques douces à l'image de nos corps ? Le doux émergera tout naturellement de nous lorsque nos techniques s'ouvriront au monde au lieu de le combattre... Une exception à cela. Nous avons su, une seule fois, fabriquer de nos mains une machine si souveraine qu'on la nomma dès sa naissance « la petite reine ». Une machine qui, pour la première fois dans l'évolution comparée de la vie et des techniques, ne nous protège pas de sa cuirasse, mais mime au contraire l'intimité des os en laissant notre chair déborder vers le monde. Bras sur le guidon, mains serrant les freins ou les poignées, cul sur selle, mes jambes se posent hors cadre. Mon corps entoure, surplombe, habille, environne ma bicyclette, ainsi devenue squelette interne de mon corps roulant.

Passant de l'ère primaire au quaternaire, réellement moderne, le vélo devance de millions d'années les autres véhicules, inimaginablement archaïques. On s'étonne en général que, quelques années après le vélo, des inventions « mirifiques » comme l'automobile soient apparues. Détrompons-nous ! Le vélo émergea de fait des centaines de millions d'années après l'automobile. Lui mammifère, elle insecte ou crustacé...



Michel Cantal-Dupart, urbaniste-architecte

UNE VILLE SANS VOITURES?

La ville que nous avons fabriquée ne peut se passer de voitures. Nous devons la repenser. Et pour cela, bousculer quelques idées reçues. Les normes de réduction d'émissions de gaz à effet de serre et l'envolée du prix du pétrole imposent des économies d'énergie. Or, au niveau du bilan énergétique d'une ville, pour consommer moins, il faut « densifier » le tissu urbain. Cela ne veut pas dire augmenter le nombre de gratte-ciel, qui sont aujourd'hui entourés d'espace. A Paris, les quartiers du Front de Seine ou de la Porte de Choisy, avec des tours d'une trentaine d'étages, sont moins denses que la zone située en plein cœur de la ville, avec des immeubles haussmanniens. Pour qu'il y ait densification, l'urbanisme du futur devrait plutôt rehausser tous les immeubles à sept étages. Et favoriser la mixité dans des quartiers regroupant commerçants, entreprises et habitants.



FRANCK COURTES/AGENCE VU

Régis Debray, médiologue

LA VOITURE FAIT DES ÉMANCIPÉS ET DES ENCHAÎNÉS

La bagnole, sa banalité la protège des questions indiscrètes, tant il est vrai que le lieu le plus inconnu est celui où nous demeurons. *L'homo automobilis* ne réfléchit pas son automobile. Elle a pourtant structuré un nouveau territoire, une nouvelle temporalité, une Cité nouvelle, tout en bouleversant notre imaginaire.

Chaque mode de transport véhicule, implicitement, une vision du monde. L'auto particulière sied à l'idéologie libérale de la privatisation du bonheur, de la concurrence et du libre choix individuel. Le chemin de fer serait plutôt d'humeur sociale-démocrate (les États-Unis, qui ont tant misé sur la voiture individuelle, ne lui sont pas sympathiques), lié qu'il est à des régulations collectives, un certain contrôle social, ne serait-ce qu'un horaire unique pour tous. Le vélo est libertaire, protestant, alternatif. La péniche, écolo et plutôt régionaliste. Nul ne roule innocemment à 140 km/h.

On devrait se servir de son auto. Le malheur est qu'on la vit, et qu'on en meurt. Ce serait trop beau si l'on pouvait avoir une voiture, et s'en servir comme d'un marteau ou d'un four à micro-ondes. Je suis ma voiture. C'est un fantasme autant qu'un moteur, un vivant inerte, un objet-sujet. Mon corps automobile, que je veux souple et énergique, son grondement me fait frissonner. Il a son acoustique, son aura, ses vocalises, son odeur. J'intériorise un engin de propulsion qui extériorise mes rêves de puissance. C'est pourquoi il s'avère si difficile de réglementer cette capricieuse personne

du dehors, de la soumettre à des choix rationnels, guidés par le principe de précaution ou un calcul réaliste de coûts/bénéfices. Le discours sécuritaire glisse sur le principe de plaisir comme l'incantation sur le sourd. L'automobiliste est un acteur du collectif viscéralement réfractaire aux raisons du collectif. L'appel à l'intérêt bien compris bute sur un noyau d'affects quasi inamendable, comme en témoigne l'insensibilité de tout un chacun au calcul des dommages causés par autos et poids lourds (à la société, à l'atmosphère, à la santé publique, etc.).

« Quand le Créateur a fait l'oiseau, il a fait un oiseau de proie et un rossignol », disait Bachelard. Quand l'homme a inventé l'automobile, il a fait des émancipés et des enchaînés; une école buissonnière et une prison, le Samu et le tank. Dans cet instable déséquilibre, on ne fera pas pencher la balance du bon côté en faisant abstraction de nos huit mille morts annuels sur la route, du prix des embouteillages, des taxes sur le carburant et des marées noires qu'entraîne, en amont, l'approvisionnement de nos stations-service. L'une des principales incertitudes du siècle qui s'ouvre, c'est de savoir si pourra ou non prendre corps une morale, donc une politique de la technique, soit une maîtrise informée et consciente des effets d'innovation sur tous les organismes, qu'ils soient génétiquement ou mécaniquement modifiés.

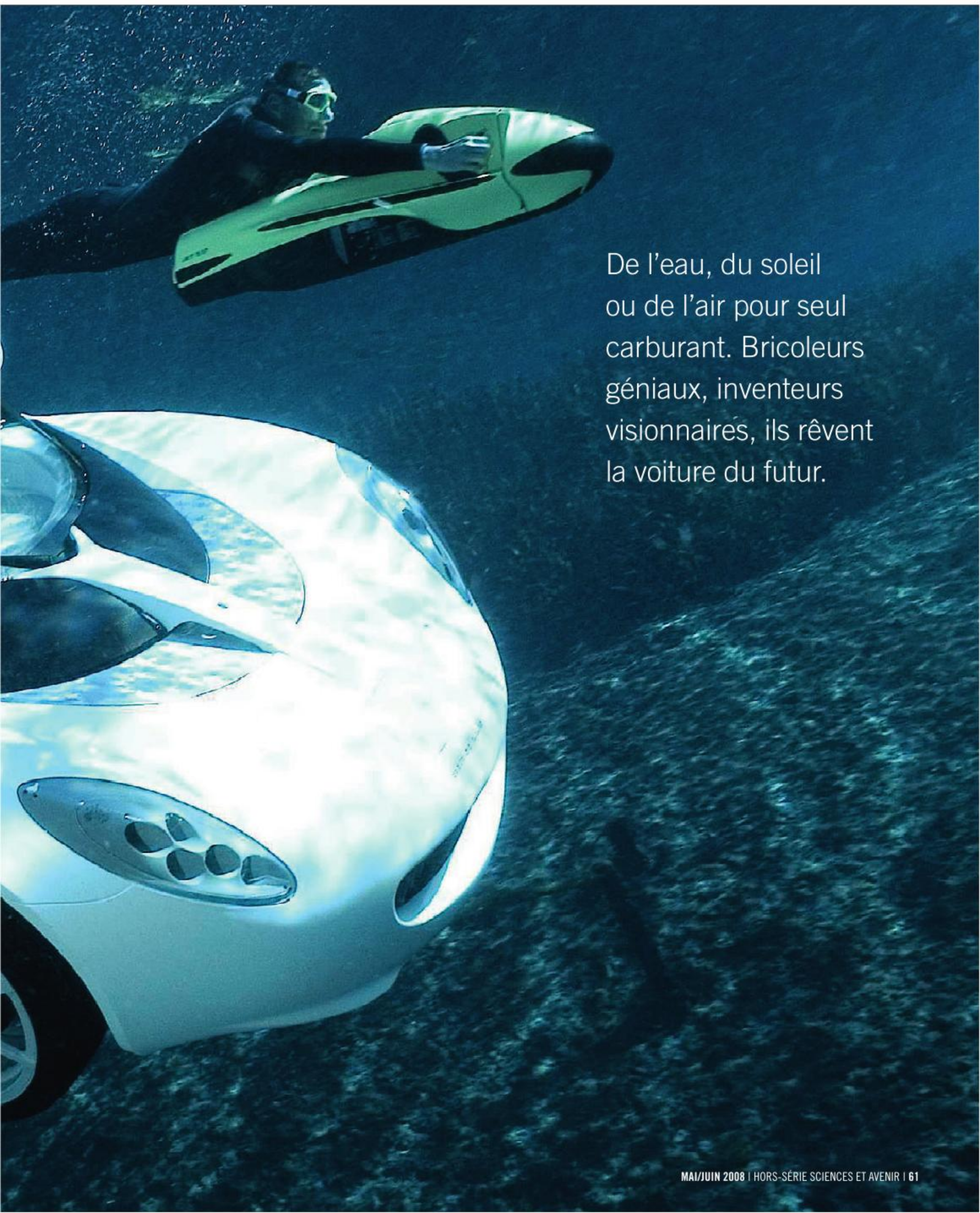
A lire : *Cahiers de médiologie* n° 12, « L'Automobile ».

« On devrait se servir de son automobile. Le malheur est qu'on la vit, et qu'on en meurt. »

L'avenir rêvé



Le concept-car suisse
Rinspeed-Mansory
sQuba, première
voiture sous-marine
à zéro émission.



De l'eau, du soleil
ou de l'air pour seul
carburant. Bricoleurs
géniaux, inventeurs
visionnaires, ils rêvent
la voiture du futur.

Voilà plus de 10 ans que Guy Nègre se bat pour son moteur à air comprimé. Raillé, presque ruiné, il vient de signer un contrat avec le géant indien Tata.

La revanche de l'aéromobile

Première, seconde, troisième... Les rapports enclenchés d'un simple coup de palette, façon Formule 1, défilent sur le cadran digital déporté sur la droite du tableau de bord. Quatrième ! Et une ultime accélération. Vitesse... environ 30 km/h !

Alors, elle existe, la voiture à air ! Nous l'avons conduite à Carros, près de Nice, sur le grand parking de MDI, la société de Guy Nègre, inventeur de cette drôle de machine. « *Et encore, je ne vous ai pas mis toute la pression. Pour un premier essai, mieux vaut être prudent* », assure sans rire cet ingénieur motoriste, ancien de l'aéronautique et de la Formule 1. Avec « toute la pression », nous aurions probablement flirté avec les 50 km/h, au son du « peuf-peuf » discret mais caractéristique du moteur à air de ce prototype. « *Dans la ver-*

sion commercialisée, on n'entendra plus rien », précise encore Guy Nègre.

Certes, on ne descend pas grisé d'un tel véhicule aux allures de voiture sans permis. Ce n'est qu'après quelques heures, voire quelques jours de maturation que l'on se met à y repenser avec la sensation qu'une rupture technologique et psychologique est en train de s'accomplir. Rupture technologique, car cette « aéromobile » qui ne rejette que de l'air tire un trait sur plus d'un siècle de voitures à essence. Rupture psychologique, car comment imaginer une ville sans les fumées d'échappement et le grondement des moteurs à explosion ? Comment croire qu'avec un baril de brut à 100 dollars, il serait possible de parcourir au volant d'une auto 100 kilomètres pour environ un 1,50 euro ?

Les sceptiques argueront qu'il ne faut pas s'emballer. « *Des performances anémiques, un équipement sommaire, pas de clim, une autonomie dérisoire... Les voitures MDI ne correspondent pas à ce que veulent les gens aujourd'hui* », confie un connaisseur du secteur. C'est oublier le plébiscite du *low cost* et la « Loganisation » du marché. Une voiture pas chère à l'achat et économique à l'usage, c'est ce que promet Guy Nègre. Début 2009, sa OneCats devrait être commercialisée dans sa version de base à seulement 3 500 euros ! Un modèle strictement urbain, un peu plus petit qu'une Twingo et pouvant embarquer trois personnes. Le moteur sera bi-éner-

gie, c'est-à-dire alimenté à l'air comprimé et à l'essence (*lire encadré p. 64*). Il fonctionnera uniquement sur l'air comprimé en ville et sera soutenu « *par un adjuvant énergétique, de l'essence ou tout autre combustible, en dehors de la ville* », indique le patron de MDI. Bilan : en cycle urbain, la OneCats sera une voiture zéro émission évoluant au maximum à 50 km/h. Si son conducteur la mène sur le périphérique, le moteur à air sera boosté par l'adjuvant. Le véhicule pourra atteindre les 90 km/h, consommera 1,5 litre d'essence aux 100 kilomètres (contre 5,6 pour une Twingo de base) et rejettera 30 g/km de CO₂ (130 pour la Twingo). Pendant le roulage, une partie de l'énergie alimentera un compresseur embarqué qui rechargera le réservoir d'air. Autonomie totale annoncée : 800 kilomètres. En version haut de gamme, la voiture sera vendue 5 300 euros, emmènera jusqu'à six personnes, atteindra les 110 km/h, consommera 1,7 litre aux 100 kilomètres et affichera toujours la même autonomie. « *Quant à la clim, s'amuse Guy Nègre, ce n'est pas compliqué. Il suffit de récupérer un peu de froid à la sortie du moteur. En raison de la forte détente, l'air s'échappe à - 40° C !* »

Après la OneCats, MDI prévoit de lancer, fin 2009, la MiniCats, une ultra-citadine de la taille d'une Smart. Puis, vers 2010-2011, la CityCats, équipée d'une carrosserie modulable et grande comme un monospace compact type Scénic. ●●●

CANDIDATE AU BONUS

UNE VOITURE QUI RAPPORTE DE L'ARGENT ?

Selon le dispositif « bonus-malus » mis en place en décembre 2007 par le gouvernement et visant à favoriser l'achat de véhicules propres (*lire pp. 72-73*), les voitures émettant moins de 60 grammes de CO₂ par kilomètre bénéficient d'une aide de l'État de 5 000 euros. Cette mesure vise notamment les voitures électriques, très chères à l'achat. Mais théoriquement, elle pourrait aussi concerner les voitures à air comprimé de MDI, qui ne rejetteraient que 30 grammes. Dans ce cas, une OneCats de base annoncée à 3 500 euros pourrait ne pas coûter un centime à son acquéreur !



En mars 2008, au salon de New York, MDI a dévoilé sa OneCats (1), qui devrait être commercialisée début 2009. Ci-contre, un ouvrier travaille sur une maquette de ce nouveau modèle (3). Il a fallu douze ans à Guy Nègre (4), l'inventeur de la Compressed Air Technology ou Cat (2), pour l'imposer.



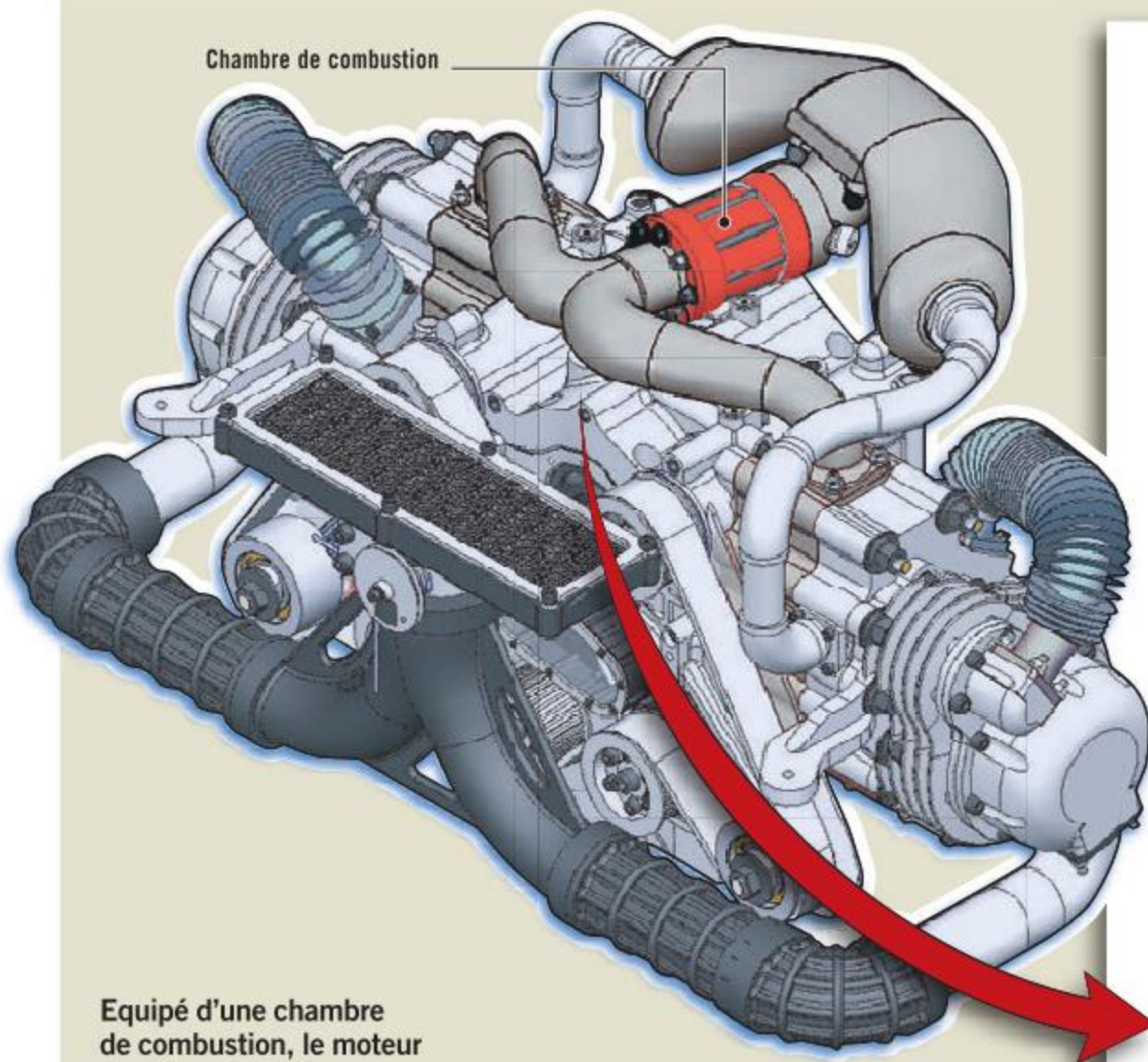
Comment carbure un moteur à air

Comme les moteurs à combustion classiques, le moteur à air comprimé repose sur le principe de la « détente avec travail ». En d'autres termes, la détente d'un gaz, c'est-à-dire sa baisse de pression et donc son augmentation de volume, agit sur un piston qui effectue un mouvement vertical. Ce mouvement linéaire est transformé en rotation par le vilebrequin et transmis aux roues. Tandis que le moteur classique utilise l'énergie de l'explosion du carburant pour actionner le piston, le moteur de MDI recourt, lui, à l'énergie stockée sous forme d'air comprimé à 300 bars dans la bouteille-réservoir. A la sortie du réservoir, un détendeur fait passer la pression de 300 à 30 bars, pression de travail du moteur.

Dans les moteurs à air comprimé de première génération (A), le cycle démarre par l'admission d'air dans la chambre. Le piston est alors dans sa position la plus haute, le PMH ou point mort haut (1). Il reste bloqué ainsi jusqu'à ce que la pression de l'air atteigne les 30 bars. À ce moment, l'admission se ferme (2) et le piston est automatiquement poussé vers le bas. C'est la détente (3). La course du piston entraîne le vilebrequin (4), et l'air s'échappe à environ -40° C. Petit inconvénient de ce système : pendant l'admission, le piston étant bloqué à son point mort haut, il ne produit aucun travail. D'où l'idée de MDI d'ajouter à la chambre principale une « chambre active » avec son « piston de charge ». Les deux chambres communiquent entre elles (B).

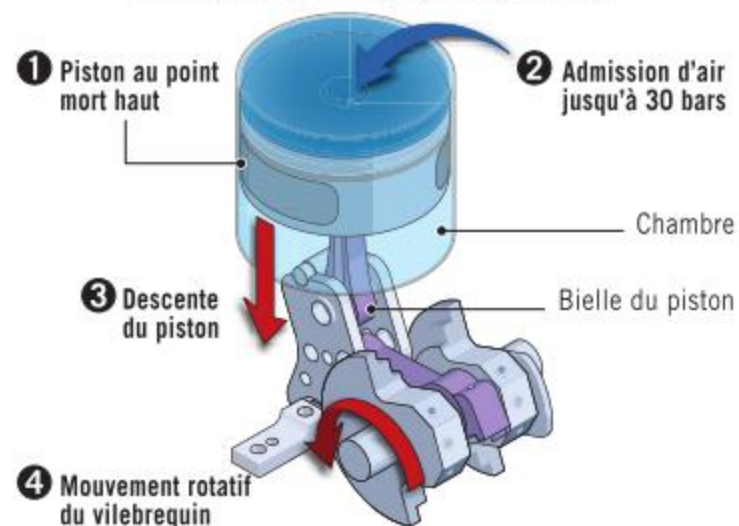
L'admission d'air se fait toujours quand le piston principal est à son point le plus haut (1). Mais cette fois, il ne reste pratiquement plus d'espace entre le dessus du piston et le haut de la chambre. L'air entre dans la chambre active (2) et pousse le piston de charge (3) qui par son mouvement entraîne le vilebrequin (4). Donc, pendant que le piston principal est bloqué au point mort haut, le moteur continue à tourner. Quand la pression atteint les 30 bars, l'admission se ferme et la détente se produit dans la chambre principale. À ce stade, le moteur ne tourne que grâce à l'énergie stockée dans la bouteille d'air comprimé. La voiture ne peut dépasser les 50 km/h et son autonomie atteint seulement 100 kilomètres. Pour obtenir plus de puissance, de vitesse et

d'autonomie, les motoristes de MDI ont ajouté à l'admission une chambre de combustion de quelques centimètres cubes destinée à chauffer l'air (voir ci-dessous l'infographie du moteur). Ce système joue sur le rapport constant entre le volume et la température d'un gaz. Quand la température augmente, le volume augmente d'autant. Du coup, il faut moins d'air pour atteindre les 30 bars de pression. L'autonomie du moteur augmente sensiblement (elle passe de 100 kilomètres en mono-énergie à 800 kilomètres en bi-énergie sur la OneCats). Le moteur développe également davantage de puissance. Enfin, dernier raffinement : une partie de l'énergie consommée pendant la combustion permet de recharger la bouteille d'air comprimé.

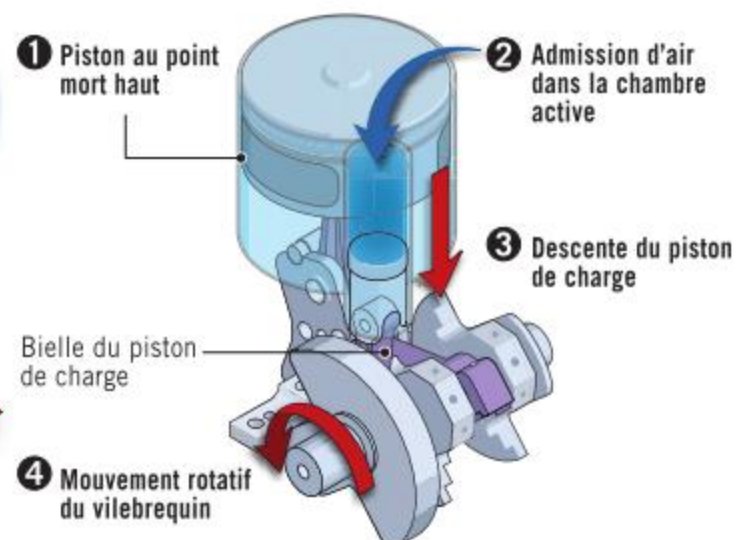


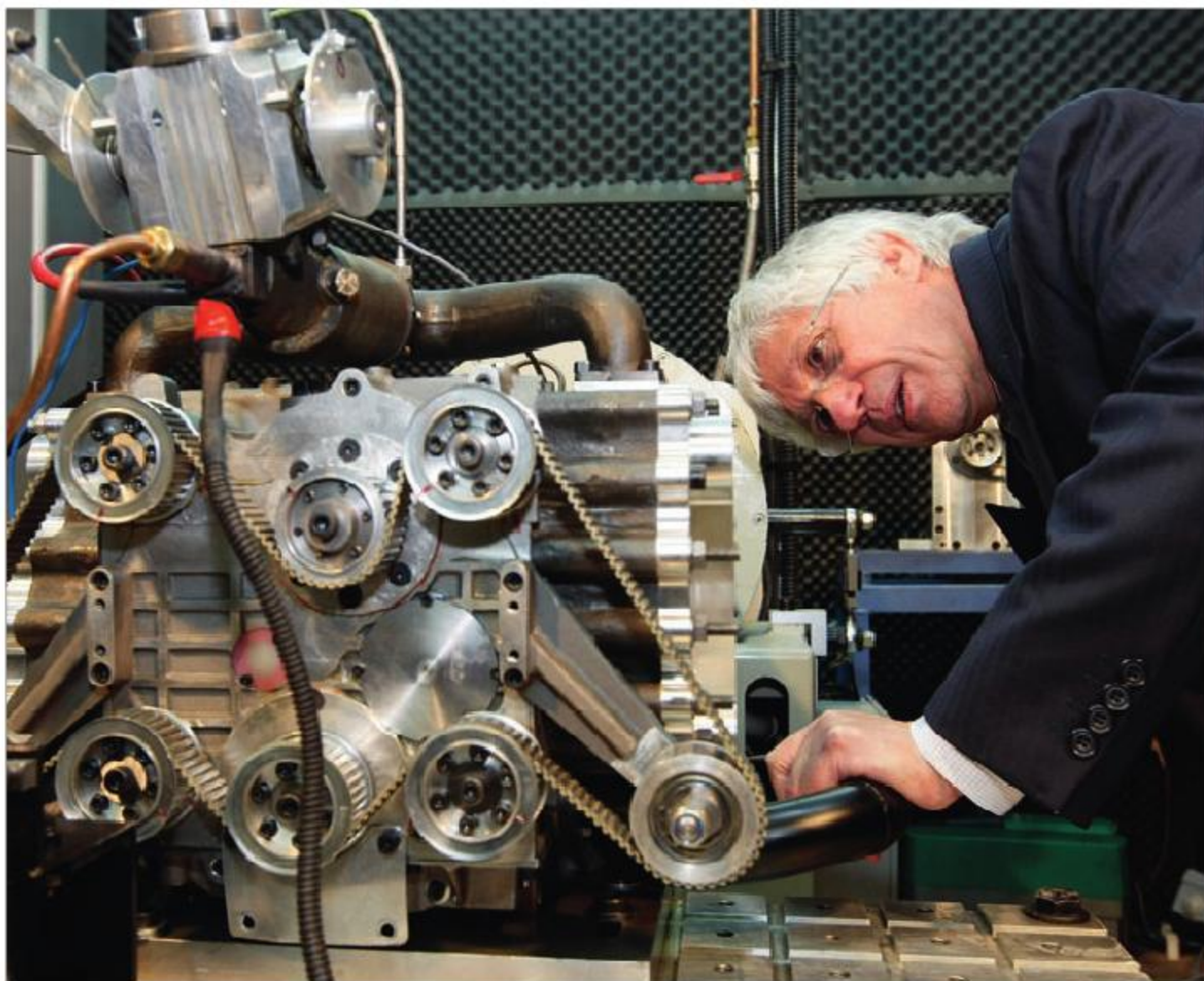
Equipé d'une chambre de combustion, le moteur dernière génération de MDI atteint une autonomie de 100 kilomètres.

Moteur de première génération (A)



Moteur de dernière génération à chambre active (B)





Pour plus de puissance, les moteurs de MDI peuvent être soutenus par un carburant classique.

●●● Pour Guy Nègre, ces sorties imminentes marquent la fin de ce qu'il appelle sa « période grise ». « Entre 2002 et 2006, nous avons vécu l'enfer, frôlant à plusieurs reprises la faillite totale. La société est passée de cinquante à douze employés en comptant ma femme, mon fils et moi-même », se souvient-il, amer. L'ingénieur travaille depuis 1996 sur le développement de son moteur à air comprimé. Mais il a présenté son premier prototype au Mondial de l'automobile à Paris en 2002. C'est là que les ennuis commencent. « Nous avons subi une véritable campagne de dénigrement de notre technologie. Puis des rumeurs d'escroquerie ont circulé sur Internet. Les banques nous lâchaient », raconte Guy Nègre, qui doit en plus faire face au scepticisme de la très influente Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe). « L'Ademe nous reprochait de n'avoir jamais pu évaluer nos véhicules. Mais c'étaient encore des prototypes de travail qui n'étaient pas prêts. Elle a alors affirmé que nos autonomies étaient très basses. Ce qui était vrai, car ces prototypes étaient équipés de réservoirs de très petite capacité. Rien à voir avec ce que nous avons aujourd'hui », se défend Guy Nègre. Une rumeur court aussi sur le risque d'explosion des bouteilles gonflées à 300 bars (300 fois la pression atmosphérique), quand le représentant d'un grand constructeur français annonce qu'un accident avec une voiture MDI raserait tout un quartier! Du délire, selon Guy Nègre: « D'une part, nous transportons de l'air et non un gaz explosif ou inflammable. D'autre part, en cas de choc violent, nos réservoirs n'explosent pas, mais

se déchirent. Les bouteilles sont constituées d'un matériau thermoplastique entouré d'un bobinage en carbone. Si le réservoir se déchire, cela fait un bruit énorme. Les passagers pourraient y laisser les oreilles, mais pas la vie. Et le quartier resterait intact! » Peu importe les arguments de l'inventeur. Les sceptiques se multiplient et raillent la voiture à air. Aujourd'hui encore, le doute est très vif: « J'y crois pas », nous ont répondu la plupart des experts de l'automobile que nous avons interrogés. Quant à savoir pourquoi, ils restent vagues. « Les rendements ne sont pas bons. » Mais encore? Des chiffres, un calcul? Rien. Nous n'avons pas pu obtenir d'évaluation rigoureuse de la technologie du moteur à air comprimé.

se déchirent. Les bouteilles sont constituées d'un matériau thermoplastique entouré d'un bobinage en carbone. Si le réservoir se déchire, cela fait un bruit énorme. Les passagers pourraient y laisser les oreilles, mais pas la vie. Et le quartier resterait intact! »

Peu importe les arguments de l'inventeur. Les sceptiques se multiplient et raillent la voiture à air. Aujourd'hui encore, le doute est très vif: « J'y crois pas », nous ont répondu la plupart des experts de l'automobile que nous avons interrogés. Quant à savoir pourquoi, ils restent vagues. « Les rendements ne sont pas bons. » Mais encore? Des chiffres, un calcul? Rien. Nous n'avons pas pu obtenir d'évaluation rigoureuse de la technologie du moteur à air comprimé.

Rendez-vous cet été

Cette validation est finalement arrivée, mais autrement que par le calcul. Le 5 février 2007, le géant indien de l'industrie automobile, Tata Motors, a signé un contrat de cession et de licence pour l'application exclusive de la technologie de MDI en Inde. Un accord estimé à 20 millions d'euros, auxquels s'ajouteront les redevances de la licence si Tata commercialise ses voitures à air comprimé sur l'immense marché indien. « Les négociations ont duré trente et un mois. Ils ont fait un audit complet de l'entreprise et de la technologie », assure Guy Nègre. L'accord a tout simplement sauvé MDI. « Si nous n'avions pas signé, deux mois plus tard, nous ferions. Le jour même de la signature, la banque m'appelait pour me dire qu'elle refusait mes chèques! », raconte l'entrepreneur, qui a, depuis, acheté pour la société, « à un prix négocié », deux voitures Tata. Une belle revanche sur les sceptiques, dont certains doutent encore de l'authenticité de ce contrat. Nous avons donc contacté la direction de la communication de Tata Motors qui nous a confirmé avoir acheté la technologie MDI! Et, pour faire taire définitivement les incrédules, Guy Nègre a pris un engagement avec Sciences et Avenir: « Cet été, vous pourrez essayer un véhicule conforme aux performances que nous annonçons. » Le rendez-vous est pris. **OLIVIER HERTEL**

Notre avis

LES PLUS

- Prix de la voiture.
- Pollution nulle en mono-énergie et faible en bi-énergie.
- Coût de l'énergie.

LES MOINS

- Design.
- Performances.

SUR LA ROUTE FIN 2009

Mais des incertitudes sur l'industrialisation et la commercialisation.

Complots, tentatives d'assassinat, performances miraculeuses, l'histoire du moteur à eau bruit de rumeurs. Reste la vraie question : est-ce que ça marche ?

La grande saga du moteur à eau

Pour beaucoup d'entre nous, la voiture à eau est une pure et simple légende urbaine. Qui n'a pas, un jour ou l'autre, entendu cette histoire : « Dans les années 1950, un ingénieur français a mis au point une automobile qui marchait à l'eau, rien qu'à l'eau. Tenez-vous bien, il a mystérieusement disparu et on n'a jamais retrouvé sa trace. » Variante : « Un gros consortium industriel a acheté le brevet de voiture à eau déposé par un inventeur australien et on n'a jamais plus entendu parler de son invention. » Corollaire de la légende : le puissant lobby pétrolier aurait étouffé dans l'œuf cette découverte révolutionnaire.

Voici à présent la réalité historique. La toute première voiture à eau sérieusement attestée date de 1935, et a bénéficié d'une immense médiatisation mondiale grâce aux actualités cinématographiques Pathé. Nous sommes près du lac White Rock, à Dallas. Un homme y prélève quelques litres d'eau et les verse dans le réservoir d'une automobile en tous points semblable aux voitures de l'époque. Le véhicule fait ensuite le tour du lac.

L'inventeur se nomme Charles H. Garrett. Il est déjà célèbre pour avoir conçu, avec son père Henry « Dad » Garrett, les feux de signalisation tricolores. On leur doit aussi la première station de radio municipale, à Dallas, le premier poste de radio intégré à une voiture, et le premier système de transmission radio destiné aux véhicules de police.

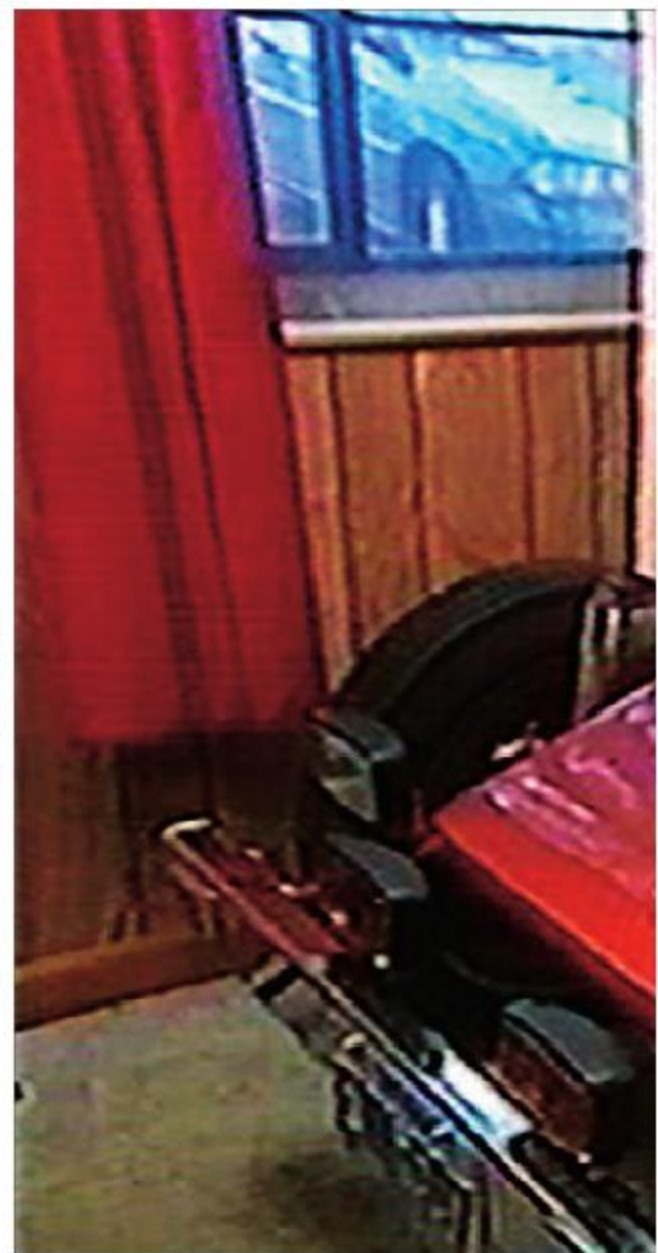
Le fils obtient un brevet (U.S. 2 006 676) le 2 juillet 1935 pour son « carburateur électrolytique ». La voiture des Garrett fonctionne grâce à un mélange d'hydrogène et d'air ambiant, l'hydrogène étant dégagé par l'électrolyse de l'eau. La mise au point a demandé huit ans de travail, non sans péripéties. Les journaux locaux relatent deux explosions majeures dans l'ate-

lier situé à l'étage supérieur d'un immeuble, l'une d'entre elles ayant pulvérisé une partie du toit.

Les Garrett précisent que l'invention n'a rien de vraiment nouveau, mais que toute la difficulté vient du caractère hautement inflammable de l'hydrogène stocké. Ils ont résolu le problème en concevant un carburateur et un système d'extraction du gaz réunis dans



Le plus célèbre des inventeurs de voitures à eau, Stanley Meyer, a travaillé des années pour améliorer les performances de l'hydrolyse classique, peu rentable. Puis il a adapté sa cellule au carburateur d'un petit 4x4, dont la vitesse reste très lente.



une seule et unique pièce mécanique. Dans ces conditions, l'hydrogène n'est jamais stocké et le risque d'explosion provoqué par des étincelles issues des cylindres est nul. L'autre différence importante par rapport à une voiture à essence réside dans la batterie, qui doit posséder le double de la puissance des batteries habituelles.

Le principe ne variera pas sur les nombreux modèles qui vont suivre. Dans tous les cas, le gaz extrait de l'eau alimente un moteur à combustion interne, le classique moteur à explosion. Ce qui changera, en revanche, ce sera le système d'hydrolyse destiné à décomposer l'eau pour obtenir de l'hydrogène et de l'oxygène. Les inventeurs vont rivaliser d'imagination pour créer des procédés énergétiquement plus performants que l'électrolyse classique qui équipait le moteur de Garrett, en jouant sur les métaux composant cathodes et anodes ainsi que sur la forme et la disposition des électrodes.

Le système le plus impressionnant reste à ce jour celui de l'inventeur bolivien Francisco Pacheco (1914-1992). Son « générateur à hydro-

gène autoélectrique bipolaire » fonctionne à l'eau de mer, et c'est la différence de potentiel entre les métaux employés, l'aluminium et le magnésium, qui alimente le processus, sans batterie.

1 500 km avec 4 litres d'eau

L'histoire de Pacheco, ingénieur chimiste autodidacte, est celle d'une passion et d'une obstination qui dureront une vie entière. Elle commence, une fois de plus, par une explosion qui détruit son plafond. Pacheco venait d'allumer une cigarette après avoir constaté, sans y prêter attention, qu'une multitude de bulles se formaient dans l'eau d'un appareil d'hydrolyse expérimental. Poursuivant ses recherches, il développe une automobile qui carbure à l'eau. En 1942, le vice-président des États-Unis, Henry Wallace, en visite officielle en Amérique latine, assiste à une démonstration et persuade Pacheco de venir chercher fortune dans son pays. Là-bas, l'inventeur contacte d'abord l'armée puis l'administration de Washington. Il dépose une demande de brevet, qui lui est refusé sous prétexte que les

deux métaux employés sont rares et chers et que le pétrole coule à flots. Il réitère sa demande dans les années 1970 et obtient cette fois des brevets internationaux. Pendant 46 ans, Pacheco présentera sa trouvaille à d'innombrables entreprises, ainsi qu'à des salons de l'invention et des congrès internationaux sur l'énergie verte. Si les rapports des chimistes experts sont invariablement élogieux, aucun industriel ne se décidera.

Il faut ensuite citer William Rhodes et son générateur multicellulaire d'oxyhydrogène, breveté en 1967. Il montre qu'on peut utiliser comme combustible un mélange d'hydrogène et d'oxygène sans risque d'explosion, à condition de respecter des proportions « stœchiométriques », c'est-à-dire identiques à celles de la molécule d'eau, 2/3 d'hydrogène et 1/3 d'oxygène.

Un autre inventeur, beaucoup plus pugnace, va exploiter cette piste pour faire rouler un véhicule, un vieux camion qui aurait, selon lui, parcouru une distance de 1 500 kilomètres avec un plein de quatre litres d'eau, le courant électrique nécessaire étant pro- ●●●

JULES VERNE L'AVAIT ÉCRIT



ROGER-BIOLLET

« Oui, mes amis, je crois que l'eau sera un jour employée comme combustible, que l'hydrogène et l'oxygène, qui la constituent, utilisés isolément ou simultanément, fourniront une source de chaleur et de lumière inépuisables et d'une intensité que la houille ne saurait avoir. »

L'Île mystérieuse, 1874



PHOTOS TIRÉES DU FILM « IT RUNS ON WATER » - LAWRENCE SIMANOVITZ/CHANNEL 4/CR

Le défi de l'hydrolyse

Les voitures à eau sont en fait des voitures à hydrogène. Mais, au contraire des véhicules présents et à venir fonctionnant avec ce gaz non polluant, l'hydrogène n'est pas stocké, il est produit « à la demande », au fur et à mesure de la consommation de carburant.

Les innovations techniques qui caractérisent une voiture à eau sont de trois ordres. D'abord, il faut concevoir un carburateur à hydrogène capable d'alimenter un moteur à explosion. C'est l'enfance de l'art. Ensuite, comme l'hydrogène peut devenir dangereusement explosif quand il se combine à l'oxygène dans certaines proportions, les inventeurs logent en un seul bloc le carburateur et le dispositif de production de l'hydrogène, pour obtenir une étanchéité totale par rapport aux cylindres, sources d'étincelles. Enfin, le défi le plus complexe



La cellule électrolytique de Stanley Meyer dégage un nombre impressionnant de bulles. Mais la mesure de l'électricité consommée pose problème. Elle est peu fiable face à un courant pulsé.



concerne la cellule électrolytique qui décompose l'eau en hydrogène et oxygène. C'est ici que les inventeurs rivalisent d'ingéniosité. L'hydrolyse classique consomme plus d'énergie électrique que ne peut en produire une vulgaire batterie automobile. Pour obtenir un meilleur rendement, les concepteurs de voitures à eau choisissent pour les électrodes des métaux ou des alliages métalliques particuliers (acier inoxydable, aluminium, magnésium). Ils travaillent aussi sur la forme et la disposition des

anodes et cathodes. Afin de maximiser la surface de contact avec l'eau, les électrodes sont plates et minces. Et pour multiplier leur nombre, elles sont empilées à l'horizontale ou bien recourbées et placées en demi-cercles concentriques. Certaines inventions font aussi appel au « dopage » de l'eau, par l'ajout de magnésium, d'hydroxyde de potassium ou d'hydruide de sodium. Si l'on en croit la teneur des brevets et les déclarations publiques des inventeurs, le rendement énergétique de

ces cellules électrolytiques innovantes atteint de tels records qu'elles semblent parfois violer allègrement les lois de la thermodynamique. Or, la combinaison des atomes d'hydrogène et d'oxygène pour former de l'eau est une réaction qui consomme de l'énergie. En aucun cas cette énergie ne peut être restituée ou augmentée suite à la décomposition de l'eau. Autant essayer de faire du feu avec de la cendre ! Cette limite infranchissable explique que les fabricants d'automobiles ne se sont pas rués sur ces inventions. Le cas de Stanley Meyer, qui a poussé le plus loin l'amélioration de l'électrolyse, reste entaché d'un soupçon tenace : il n'a jamais accepté que son véhicule soit testé par un laboratoire indépendant, et son entreprise, toujours active sous la houlette de son frère, applique cette même politique qu'on pourrait qualifier de suicidaire.

●●● duit par une simple batterie d'automobile. S'il est un homme à l'origine de la rumeur évoquée plus haut, c'est bien lui, Yull Brown (1922-1998). De son vrai nom Ilya Velbov, il naît en Bulgarie, suit des études d'électrotechnique et, peu avant la Seconde Guerre mondiale, s'enthousiasme pour un passage du roman de Jules Verne *L'Île mystérieuse* qui prédit que le carburant du futur sera l'eau. Le moteur à eau sera la quête de toute sa vie, mais l'histoire commence mal : il subit la guerre, puis des années d'enfermement dans les prisons communistes, suivies d'une fuite hasardeuse qui lui vaut encore cinq ans dans les geôles turques avant qu'il n'émigre enfin en Australie. Là-bas, il change de nom en hommage à Yul Brynner, aussi chauve que lui, et fonde en 1970 sa compagnie, nommée Water Fuel Holding Pty Ltd.

Le mélange gazeux que Brown baptise « hydroxy » fait non seulement rouler des voitures, mais accomplit divers prodiges en matière de

soudure à l'arc (la flamme possède l'étrange propriété d'adapter sa chaleur au matériau rencontré – elle ne brûle pas la main, mais fait fondre l'acier) ou dans le domaine du chauffage domestique. Deux pays, la Chine et la Corée, ont exploité le brevet de Yull Brown, et la firme chinoise Norinco a fabriqué en série des générateurs d'hy-

droxy, de fort mauvaise qualité, dit-on. L'ingénieur américain George Wiseman, sans doute le meilleur spécialiste mondial des voitures à eau, commercialise aujourd'hui le générateur, ainsi que plusieurs livres et DVD qui enseignent comment le fabriquer (1).

« Ils m'ont empoisonné ! »

Nous arrivons à la voiture à eau la plus célèbre, celle de Stanley Meyer (1941-1998). Il invente un procédé d'électrolyse plus efficace que la méthode classique, consommant peu d'électricité – une batterie de 36 volts et un dixième d'ampère –, produisant un gaz directement injectable dans un carburateur (brevet U.S 5 293 857). Dans son système, un redresseur transforme l'électricité continue pour obtenir un courant alternatif qui envoie des pics de très haut voltage unipolaire, sur une fréquence d'environ 42 kilohertz. Ces pulsations modifieraient et polariseraient la structure de l'eau pour faciliter l'hydrolyse.

V

Notre avis

LES PLUS

- Pas de rejets polluants.
- Énergie abondante et bon marché.

LES MOINS

- Difficultés pour mettre au point des prototypes.
- Risques explosifs avec les mélanges de gaz.
- Problème de recyclage des électrodes et des composants métalliques.
- Vitesse extrêmement faible.

SUR LA ROUTE EN ?

Malgré des expertises favorables, l'industrialisation reste incertaine.

Stanley Meyer a défrayé la chronique, mais souvent au chapitre judiciaire – l'inventeur a convaincu des investisseurs sans jamais livrer un prototype convaincant, c'est-à-dire testé par des laboratoires indépendants. Paranoïaque, Meyer faisait souvent état de menaces de mort contre lui. Le 25 mars 1998, à l'entrée d'un restaurant, il a un brusque malaise et prononce ses dernières paroles : « *Ils m'ont empoisonné!* » Il meurt durant son transfert à l'hôpital. De quoi alimenter pour longtemps les rumeurs de complot industriel contre toute invention menaçant la suprématie du pétrole. Plus prosaïquement, Stanley Meyer est décédé d'une rupture d'anévrisme.

L'avancée suivante met en lumière la créativité technologique dans les pays émergents. Le Philippin Daniel Dingel fait les gros titres de la presse mondiale en 1999 suite à une dépêche de l'agence Reuters. Son invention date pourtant de 1969. La voiture qu'il a équipée de son système est une Toyota Corolla. Elle fonctionne avec une batterie ordinaire de 12 volts et 5 ampères et utilise aussi bien l'eau salée que l'eau du robinet, transformées en eau lourde.

Enfin, le nec plus ultra de la voiture écologique: un véhicule à eau, alimenté par l'énergie solaire. Le prototype a été réalisé en avril 1998 par l'équipe de John Turner et Oscar Khaslev, du National Renewable Energy Laboratory à Golden (Colorado).

On pourrait aussi citer Andrijah Puharich, François Cornish, Joe Cella, Dan Danforth, Stephen Horvath, John Sorrenti, Bevan Ott et bien d'autres. Plus d'un millier de brevets dorment dans les archives de l'INPI (Institut national de la propriété industrielle) et de ses équivalents étrangers. Le fait qu'aucune voiture à eau n'ait jamais été fabriquée en série n'indique pas un quelconque complot des pétroliers, mais témoigne de la frilosité des industriels. Même si ces automobiles n'ont jamais fait la preuve de leur rentabilité énergétique, elles ont au moins un avantage évident: leur unique rejet dans l'atmosphère est de la vapeur d'eau!

JEAN-PIERRE LENTIN

(1) www.eagle-research.com

Un bricoleur modifie sa DS lors d'un stage d'initiation à la technique du dopage à l'eau.



Un peu d'eau dans l'essence, et la consommation baisse: c'est le pari des moteurs Pantone et de leurs avatars.

Des voitures dopées à la vapeur

EN SAVOIR PLUS

lapierreangulaire.free.fr/
www.econologie.com
www.hypnow.com/
Calendrier de stages:
quanthomme.free.fr/qhsuite/calendstage
pantone08.htm

Bricoleurs ou ingénieurs, passionnés, curieux ou militants écologistes, ils sont de plus en plus nombreux, communiquent par internet, organisent des stages, échangent des trucs. L'objet de leur passion: un nouveau type de moteur. Qu'on l'appelle Pantone ou Gillier-Pantone, il permet de baisser la consommation de carburant et de diminuer la pollution des voitures, tracteurs ou tondeuses à gazon, grâce à l'ajout d'un peu d'eau dans un bon vieux moteur thermique. Et ça marche...

Samedi 1^{er} mars, à une trentaine de kilomètres au sud de Rennes, ils étaient encore vingt-cinq novices à s'initier à cette belle mécanique sous la houlette de Jacques Pochon, gérant d'une ferme équestre en Bretagne et prosélyte de ces nouveaux systèmes depuis huit ans. Deux utilitaires Citroën C25 ont pu y être équipés en une journée de la variante Gillier-Pantone.

Malgré des noms et des plans différents, tous ces dispositifs reposent sur le même principe. De la vapeur d'eau est tout sim- ●●●

●●● plement injectée dans l'admission d'air ou de carburant de la chambre de combustion (voir infographie ci-dessous). Cette vapeur est généralement créée à partir d'un petit réservoir d'eau adjoint au système, d'où la confusion avec les moteurs à eau purs et durs (lire pp.66-69). « Ça va à l'encontre de ce qu'on apprend en théorie: on freine l'arrivée d'air et les gaz sont plus chauds. L'efficacité devrait être moins bonne », témoigne Michel Schmit, un mécanicien à la retraite en Bourgogne, devenu formateur il y a quatre ans.

Fini les fumées noires

Sur sa R11 diesel, il a lui-même constaté une économie de carburant de 20 %. « Les fumées noires disparaissent, devenant quasi indétectables aux contrôles techniques, poursuit-il. Dans les stages, je mets d'ailleurs en avant plutôt ces aspects écologiques que les économies de carburant. La plupart des gens ne connaissent pas leur consommation! », constate-t-il. Même satisfaction pour Jacques Pochon. « En démontant la culasse de ma R25, j'ai constaté qu'elle était blanche, comme si le moteur avait été décalaminé. Peut-être ce "nettoyage" explique-t-il les performances? », témoigne ce passionné. Comme les autres utilisateurs, il a



Moteur modifié avec un système Gillier-Pantone. La boussole montre que certaines pièces ont été magnétisées.

le sentiment d'une conduite plus souple. « Sans la modification, il fallait que je rétrograde pour monter certaines côtes. Pas avec ce système », note-t-il.

Le succès est tel que des collectivités territoriales ont tenté l'expérience. A Vitry-sur-Orne (Moselle), trois véhicules utilitaires sont équipés depuis presque un an. « Nous avons constaté 30 % d'économie de carburant pour le Citroën C15 et 20 % sur les deux Renault Master. Les fumées polluantes ont pratiquement disparu », précise Aurélie Reder, responsable environnement à la mairie. « Sur 2000 kilomètres, l'économie a été de 25 à 30 % sur le Citroën Jumper », ajoute le directeur du garage du conseil général de la Moselle, Romain Meyer, lui aussi convaincu. Les deux garages de ces collectivités locales ont été « évangélisés » par Alexandre Grégoire, animateur de l'association écologique la Pierre angulaire. « Ça commence à prendre. D'autres collectivités locales m'ont contacté. J'ai quatre ou cinq projets en attente. Je forme les agents qui, ensuite, sont autonomes », précise Alexandre Grégoire. Une société, Hypnow, a quant à elle décidé en 2006 de vendre des kits prêts à installer. « Le démarrage est difficile, mais nous vendons bien à l'étranger. Nous n'affichons pas de gains de consommation, car

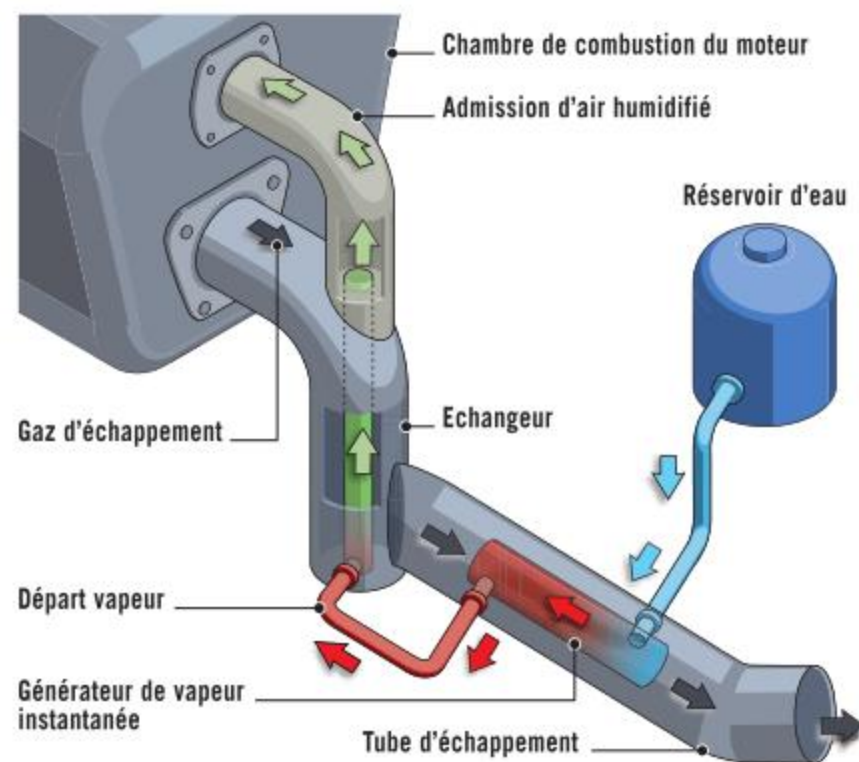
c'est au cas par cas. Le système est plus ou moins efficace selon les moteurs », complète Christophe Tardy, le cofondateur.

Les modifications sont assez simples. Un débutant mettra quelques jours à fabriquer et installer son système. Un habitué, à peine deux. Il lui en coûtera moins de 200 euros de matériel. Le seul problème est que chaque voiture est différente, notamment en ce qui concerne la place disponible sous le capot et les réglages nécessaires. En outre, chacun a sa petite recette pour fabriquer la vapeur d'eau. Tout le monde ne chauffe pas non plus le réacteur de la même façon et à la même température. Mais les engins les plus simples à régler restent ceux qui fonctionnent à un régime assez constant comme les tracteurs, les groupes électrogènes ou même les tondeuses à gazon. A priori, tout ceci est parfaitement légal puisque, la puissance du moteur n'étant pas modifiée, un passage aux Mines n'est pas obligatoire. Reste que les assureurs pourraient y trouver à redire... si on les prévenait.

Tests en cours

Toute cette histoire est partie de l'inventeur américain Paul Pantone, qui a déposé un brevet en 1998 puis a diffusé largement son idée via internet. Son système est assez compliqué et s'inspire d'idées

LES PRINCIPES DU «DOPAGE À L'EAU»



La chaleur de l'air d'échappement permet de vaporiser de l'eau liquide introduite grâce à un réservoir. Elle chauffe aussi l'échangeur, où la vapeur est « modifiée » avant d'être admise dans la chambre de combustion.



en fait bien plus anciennes. Les spécialistes citent des injections d'eau liquide dans les moteurs d'avion (pour augmenter la puissance), le brevet du Français Jean Chambrin en 1974. Ou encore le système dit Vix, breveté dans le monde entier et commercialisé en France en 1976. « Nous avons pu montrer que le Pantone marchait, mais beaucoup d'essais et de réglages sont nécessaires. Nous n'avons pas réussi à obtenir de gain en consommation », précise Yannick Bénard, du Centre de recherche d'innovation technique et technologique en moteurs et acoustique automobile (CRITT M2A) à Bruay-la-Buissière (Pas-de-Calais). L'an dernier, pour des étudiants des Mines de Douai, ce centre a conduit l'un des rares essais officiels d'un Pantone sur des bancs professionnels. « Il faut oublier le système Pantone d'origine ! Il est immaîtrisable et instable », ajoute Christophe Martz, jeune ingénieur qui s'est lancé dans le commerce de produits écologiques (www.econologie.com) et qui a fait un mémoire de fin d'études sur ce moteur. « Il est vraiment difficile à régler. Nous avons travaillé pour transformer ce principe en produit vendable. Il a fallu mélanger plein d'idées », complète Christophe Tardy. Les plans initiaux de Pantone ont donc été modifiés. Ainsi, au début

des années 2000, l'agriculteur Antoine Gillier, dans l'Allier, a l'idée d'injecter la vapeur d'eau non pas dans le mélange carburant, mais dans l'arrivée d'air. Le Gillier-Pantone ou dopage à l'eau était lancé. Plus facile à régler, il devrait bientôt être testé par sept nouveaux étudiants de Douai sur les bancs du CRITT-M2A. C'est lui qui a l'air de fonctionner si bien à Vitry-sur-Orne et ailleurs. « Nous verrons assez vite s'il y a un gain », souligne Yannick Bénard. Je me demande aussi si l'effet bénéfique sera permanent ou s'il diminuera avec le temps », une fois les effets de « décroassement » du moteur passés. « Quand nous évo-

Jacques Pochon (à gauche) explique comment modifier un moteur Gillier-Pantone (1), qui s'adapte aussi bien sur les voitures que sur les tondeuses (2). Un aspirateur sert à Jacques Pochon à expliquer la circulation des flux dans le moteur (3). Après la théorie, la pratique (4).

quons ces dispositifs, nous n'utilisons plus le terme Pantone, pour des questions d'image », ajoute Alexandre Grégoire. Il est vrai que l'Américain s'est retrouvé en prison pour de sombres histoires d'escroquerie. Et qu'il invoquait de mystérieux effets physiques et l'obligation d'orienter magnétiquement une des pièces clés du système, le réacteur. « Le magnétisme, c'est du folklore », tranche Michel Schmit.

« Plus ça va, moins on comprend »

N'empêche que personne ne comprend ce qui se passe vraiment dans ce moteur, notamment au niveau de l'échangeur, un simple tube d'acier. Les routiers ont beau faire remarquer qu'ils roulent mieux lorsque l'air est humide, il n'en reste pas moins que le fonctionnement de cette invention reste un mystère. Le craquage de l'eau en hydrogène est exclu, car personne n'a mesuré un tel dégagement. L'invocation de la création d'un plasma semble tout aussi farfelue. L'hypothèse la plus probable serait celle de Julien Rochereau, ingénieur mécanicien dans le Sud-Ouest. Il suggère que la vapeur d'eau porterait des charges électriques circulantes qui favoriseraient une meilleure combustion. Basée sur l'étude bibliographique de phénomènes comparables, l'idée a le mérite de pouvoir être testée expérimentalement (influence de l'acidité de l'eau, de son degré d'électrisation...). Verra-t-on que la baisse de consommation n'est pas simplement due à une baisse de puissance ? « Notre démarche est pragmatique. Nous voyons que ça marche, et on comprendra plus tard », conclut Alexandre Grégoire. « Plus ça va, moins on comprend », ajoute Jacques Pochon, qui a constaté que, finalement, chauffer le réacteur n'était pas nécessaire... Malheureusement pour ses promoteurs, cette belle histoire risque de se terminer rapidement. Les voitures modernes, bardées d'électronique, compliquent les modifications. Pire, les capteurs détecteraient des dysfonctionnements et commanderaient une admission supplémentaire de carburant ! Le contraire de l'effet recherché. **DAVID LAROUSSE**
REPORTAGE PHOTO DOMINIQUE LEROUX/
LOOK AT SCIENCES

Notre avis

LES PLUS

- Baisse de la consommation (20 à 30 %) et des émissions de CO₂, selon certaines constatations des utilisateurs.
- Moins de fumées noires (particules, suie).
- S'adapte sur tracteurs, tondeuses, groupes électrogènes.

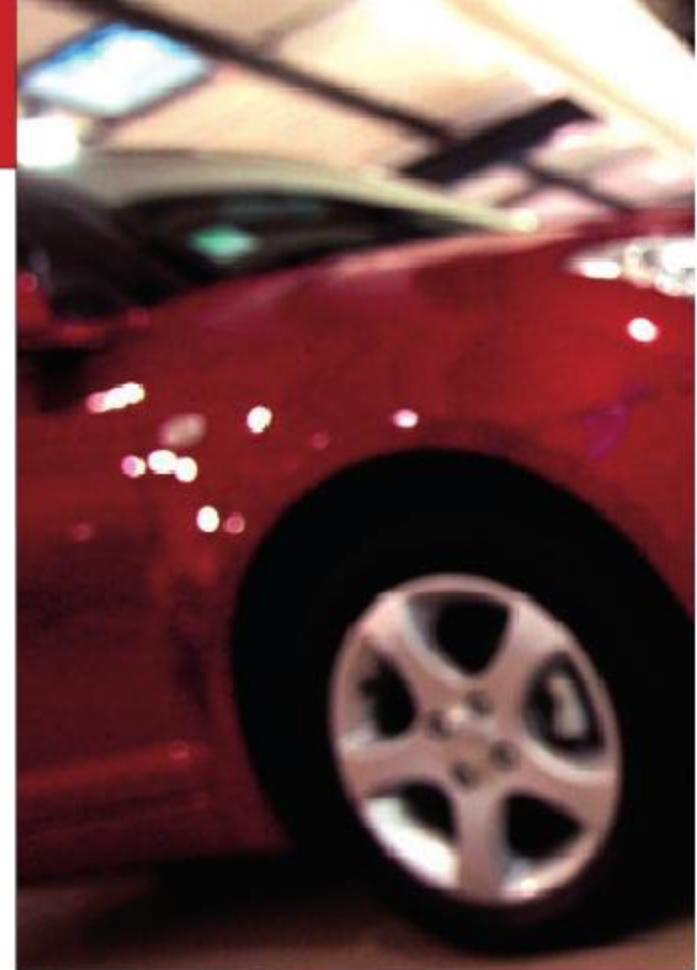
LES MOINS

- « Bricolage » au cas par cas.
- Incompatibilité avec les voitures récentes à cause de l'électronique de contrôle.

DÉJÀ SUR LA ROUTE

mais pas encore évalué sur banc d'essai, ni homologué ; quelques kits commercialisés.

Les vrais comptes du bonus/malus



Depuis janvier 2008, rejeter du CO₂ coûte cher. Mais comment est calculé l'«impôt effet de serre»? Et quelles sont ses limites?

BONS ET MAUVAIS ELÈVES

VOITURES

La diesel la plus économe:

Smart Fortwo
3,3 l/100 km

L'essence la plus économe:

Toyota Prius
4,3 l/100 km

La diesel la plus gourmande:

Volkswagen
Touareg
12,6 l/100 km

L'essence la plus gourmande:

Lamborghini
Diablo Special
Edition
24,9 l/100 km

(Source: Ademe 2007)

CONSTRUCTEURS

Les moins polluants:

PSA (142 g CO₂/km) et Fiat (144 g CO₂/km)

Les plus polluants:

Ex aequo: BMW et DaimlerChrysler (188 g CO₂/km) Malgré ses hybrides, Toyota n'est qu'au 4^e rang.

(Source: Fédération européenne pour le transport et l'environnement, novembre 2007)

Il va falloir s'y faire, une nouvelle monnaie est en train de s'immiscer dans nos portefeuilles: la tonne de CO₂ (1). Encore malaisée à manipuler, elle est apparue avec la question du réchauffement climatique, puisque le CO₂ est l'un des principaux gaz à effet de serre (les autres peuvent s'exprimer en «équivalent CO₂»). Elle ne cesse de se répandre dans la vie quotidienne. Dernier épisode en date: l'introduction d'un bonus/malus à l'achat de voitures neuves depuis janvier 2008. Au-dessous de 130 g de CO₂ rejeté par kilomètre, l'Etat allège le prix du véhicule (de 200 à 1 000 euros). Au-dessus de 160 g, le client paye plus cher (de 200 à 2 600 euros). Entre les deux, aucun surcoût ni cadeau.

D'où sortent ces chiffres d'émissions de CO₂? Ils sont calculés sur banc d'essai, en même temps que la consommation de carburant du véhicule neuf (*voir page suivante*). Mais des formules simples permettent d'évaluer soi-même ses émissions, en fonction de la consommation aux cent kilomètres. Dans le cas d'un diesel, on multiplie celle-ci par 27 (26,5 pour être précis) pour obtenir la consommation en grammes de CO₂ par kilomètre. Et, pour une essence, par 24 (23,7 si l'on veut ergoter). Ce calcul résulte d'une équation chimique simple selon laquelle tous les carbones présents dans le carburant se retrouvent dans le CO₂ après la combustion. Mais attention: si, en parlant de la consommation réelle de votre véhicule, vous ne tombez pas sur les mêmes chiffres que ceux de sa fiche technique, c'est qu'ils correspondent au véhicule neuf testé sur un cycle de conduite bien particulier (*lire page suivante*). Ces valeurs peuvent s'écarter notablement des émissions réelles en fonc-

tion de l'âge du véhicule ou du type de conduite.

Pourquoi une voiture émet-elle plus de grammes de CO₂ qu'elle ne consomme de grammes d'essence?

Une consommation de 5 litres aux cent kilomètres, soit environ 5 kg d'essence, émet quelque 11,8 kg de CO₂ selon les formules approchées. Quelle alchimie se passe donc pendant la combustion? En fait, rien de bizarre... Dans le moteur, l'oxygène de l'air brûle l'essence, qui n'est, majoritairement, composée que d'hydrogène et de carbone. À la sortie du pot d'échappement, tout le carbone se retrouve sous forme de CO₂. Les N atomes de carbones de l'hydrocarbure se sont transformés en N molécules de CO₂. Or celles-ci pèsent plus lourd

que l'hydrocarbure. Bien entendu, le bilan global (tenant compte de la masse d'oxygène introduit et de la vapeur d'eau rejetée) est équilibré: autant de masse d'un côté que de l'autre. La chimie est sauvée!

Toutes les émissions de gaz à effet de serre sont-elles prises en compte dans le bonus-malus?

Non, il n'est basé que sur la consommation de carburant. Il ignore le coût en carbone de la fabrication de la voiture. L'Ademe, dans son guide des facteurs d'émission, estime que, pour en tenir compte, il faudrait ajouter un sup-

LA THÉORIE ET LA PRATIQUE

Oublis et abus

Une étiquette verte abusive

Les fabricants profitent du bonus/malus pour se donner une coloration «écologique». Mais l'étiquette verte ne concerne que les émissions de CO₂ (qui n'est d'ailleurs pas un polluant!) et «oublie» les émissions de soufre, de particules fines ou d'oxyde d'azote responsables d'une partie de l'ozone que l'on respire. Les filtres à particules n'étant pas obligatoires, on peut trouver des voitures «à bonus» – et notamment des diesels, fortement polluants – qui n'en sont pas équipées!

Les familles nombreuses et le covoiturage pénalisés

Comme c'est l'achat de la voiture et non son utilisation qui est prise en compte, les familles nombreuses obligées de s'équiper en familiales sont défavorisées: elles émettent

moins, par personne transportée, que des «Fangio» dans de petites citadines. Même cause, même effet avec la pratique du covoiturage, qui n'est pas récompensée. Les voitures automatiques sont également désavantagées puisqu'en théorie, elles consomment plus; mais leurs propriétaires ont un style de conduite plus économe.

Mesures et consommation réelle: le grand écart

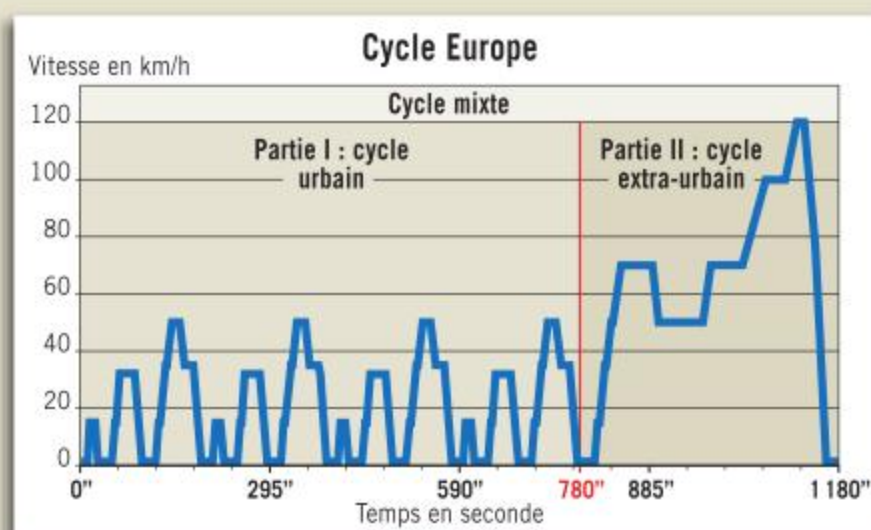
Les bonus/malus sont attribués sur la foi de mesures effectuées sur des cycles particuliers et sur des véhicules neufs. La consommation réelle peut s'écarter notablement de ces chiffres certifiés. Ainsi, une voiture à bonus peut s'avérer très polluante... à cause de son âge ou du style de conduite de son possesseur!



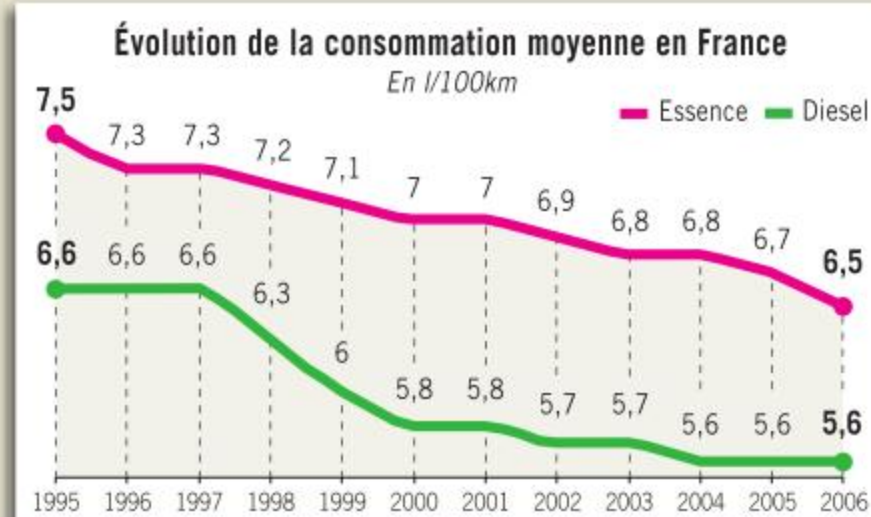
Comment est calculée la consommation de carburant?

Curieusement, il n'est pas si facile de mesurer la consommation d'un véhicule. Plus exactement, les mesures ne sont pas réalisées comme on s'y attendrait, à l'aide de débitmètres, par exemple. C'était le cas jusque dans les années 1990 mais, depuis, on utilise une autre méthode, indirecte. Il s'agit de calculer les quantités de carbone émises au niveau du pot d'échappement. En effet, tout le carburant brûlé se retrouve sous forme de dioxyde de carbone, de monoxyde de carbone et d'hydrocarbures non consommés (suies) dans les fumées. Il suffit donc d'en estimer les quantités respectives pour déduire la consommation grâce à quelques formules simples (qui dépendent de la nature du carburant).

En France, c'est l'Union technique de l'automobile, du motorcycle et du cycle (Utac) qui homologue tout véhicule commercialisé sur notre marché (à moins qu'il n'ait déjà été contrôlé par un organisme européen similaire). Chaque automobile passe sur ses bancs de test pour une série d'essais destinés à certifier les consommations de carburant mais aussi les émissions polluantes (monoxyde de carbone, particules...), les émissions de CO₂, ou encore la puissance du moteur ou le bruit. Ce sont ces chiffres qui figurent sur les étiquettes et les publicités des



Afin de certifier leur consommation, tous les véhicules d'Europe sont testés sur le même cycle d'accélération et de décélération.



La consommation moyenne des véhicules neufs essence vendus décroît depuis 1997, celle des diesels stagne.

constructeurs. Pendant vingt minutes, le moteur subit une série d'accélération et de décélération censées représenter un trajet idéal. Les treize premières minutes, le véhicule est en cycle urbain et ne dépasse pas 50 km/h. Le reste du temps, il est en cycle extra-urbain, avec une pointe à 120 km/h. L'ensemble forme le cycle Europe, généralement celui indiqué à l'achat. Une harmonisation mondiale est en cours entre l'Europe, les États-Unis et le Japon, chacun de ces pays ou groupe de pays ayant un

cycle particulier (temps d'accélération/décélération plus ou moins courts, vitesses maximales différentes, paliers de vitesse plus ou moins longs...). Un œil sur ce cycle théorique suffit à constater les divergences qu'il peut présenter avec la réalité : les trajets autoroutiers sont sous-estimés, par exemple, puisque la vitesse ne dépasse pas 120 km/h... Néanmoins, les écarts les plus importants entre consommation réelle et consommation affichée proviennent du type de conduite (lire notre test p. 74).

plément de quelque quarante grammes de CO₂ par kilomètre, soit de quoi faire passer une voiture vertueuse dans la catégorie neutre, voire à malus. Mais, attention, ce sont des estimations basées sur l'ensemble du secteur automobile, qui ne font donc pas la différence, par exemple, entre une voiture de grande série et une série limitée. Pour être encore plus juste, il faudrait aussi ajouter la fabrication et le transport du carburant. L'Ademe évalue à 17 % un surcoût pour l'essence et à 10 % pour le diesel. Cette fois, il n'y aurait quasiment plus de voiture à bonus! Enfin, il faudrait tenir compte des émissions d'autres gaz à effet de serre tels le protoxyde d'azote ou les HFC. Les premiers sont essentiellement rejetés par les pots catalytiques lors de réactions « parasites ». Les seconds sont les gaz frigorigènes utilisés dans les climatiseurs. Ces deux gaz renchérissent encore les émissions de quelques pour-cent, mais l'Ademe ne donne pas de chiffres. Néanmoins, on peut s'en faire une idée en utilisant l'inventaire des émissions de gaz à effet de serre réalisé par le Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique (Citepa). Par exemple, en 2005, les véhicules particuliers ont rejeté 1,8 million de tonnes-équivalent CO₂ de HFC. Soit 2,5 % de la quantité de CO₂ émise dans le même temps.

DAVID LAROUSSE

(1) Dans certains cas (industrie...), on utilise plutôt la notion de tonne de carbone. L'atome de carbone est environ trois fois et demie plus léger que la molécule de CO₂, ce qui permet des conversions d'unités aisées.

En savoir plus

Le site de l'Ademe (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie). www.ademe.fr
En particulier : www.ademe.fr/auto-diag/transports/rubrique/CarLabelling/ : toutes les informations sur les rejets de CO₂, par voiture et par type de carburant, avec un palmarès.

Deux conducteurs, une même voiture, un même trajet... À l'arrivée, un écart de consommation spectaculaire!

Ecoconduite : gagnez 25 % de carburant

Réduire de 25% sa consommation, uniquement en adoptant une conduite « douce » ? C'est à la portée de tout un chacun. La preuve grâce à un test comparatif entre une conduite standard et une « écoconduite », c'est-à-dire une conduite économique. L'auteur de ces lignes a endossé le rôle du « conducteur lambda », respectueux des limitations de vitesse, mais toujours prêt à grappiller quelques petits kilomètres-heure. Pour l'écoconduite, nous avons fait appel à Thierry Blanquet, pilote et responsable de la mise au point des moteurs diesels chez Renault. Le comparatif a été mené de la manière suivante : un parcours mixte de 125 kilomètres entre le Technocentre Renault de Guyancourt et Acquigny, dans l'Eure. Le « conducteur lambda » a effectué l'aller et Thierry Blanquet le retour, après avoir refait le plein. Les consommations moyennes sont prises sur l'ordinateur de la voiture, une Clio 1.5dCi, 85 ch, avec quatre personnes à bord. Les résultats du test sont tout simplement incroyables : grâce à l'éco-

conduite, le pilote a consommé 25 % de carburant en moins que le « conducteur lambda », pour une vitesse moyenne identique. Même si ces mesures ne sont pas d'une grande rigueur scientifique, elles permettent néanmoins d'avoir une bonne idée des économies que nous pouvons réaliser en changeant simplement notre façon de conduire. Voici donc les quelques conseils livrés par notre pilote.

Quelques règles générales

- **Rapport** : l'optimum de consommation se situe au régime moteur le plus faible pour le rapport le plus élevé, évidemment sans faire « brouter » la voiture.
- **Anticipation** : éviter au maximum les variations de vitesse (freinages, accélérations) et les changements de rapports.
- **Démarrage** : ne pas démarrer en seconde, car le peu d'économies réalisées sur la consommation sera très vite compensé par l'usure de l'embrayage.
- **Pneus** : ne pas hésiter à les surgonfler. Quel que soit l'usage, se mettre

à la pression recommandée par le constructeur pour la conduite chargée sur autoroute.

- **Descente et ralentissement** : utiliser le frein moteur au maximum, car la consommation est nulle. Le moteur ne reçoit pas la moindre goutte de carburant. Il peut sembler tourner vite, mais ce sont les roues qui l'entraînent.
- **Montée** : rétrograder le plus tard possible, tout en restant sous les 2000 tours/minute.
- **Régulateur de vitesse** : son maniement peut être déstabilisant, mais il est très intéressant dès qu'il est possible de stabiliser la vitesse, notamment sur certaines nationales, les voies rapides et bien sûr les autoroutes. Une vitesse légèrement inférieure à celle autorisée permettra un gain sensible en consommation sans avoir un impact important sur la durée du parcours. Les inconditionnels ont même l'habitude d'accélérer au régulateur (grâce au bouton généralement placé sur le volant), ce qui est plus précis et économe que les accélérations au pied.
- **Climatisation** : à éviter au maximum. Elle consomme environ 0,5 l aux 100 km en moyenne sur un an dans une région tempérée. Il est préférable de rouler les fenêtres ouvertes : l'impact sur la consommation sera négligeable.

À PROSCRIRE

LE POINT MORT

dans les descentes ou ralentissements : le moteur consomme du carburant pour maintenir son ralenti alors qu'il ne consomme rien avec le frein moteur.

L'ACCÉLÉRATION À L'ALLUMAGE

du moteur : absolument inutile, elle est en revanche coûteuse en carburant... et polluante.

LES BARRES ET COFFRES DE TOIT

A enlever dès que l'on n'en a plus besoin. Ces éléments ont un effet important sur la traînée aérodynamique de la voiture.

LE TUNING

Un véritable désastre. Les modifications – bécquet, spoiler... – anéantissent le travail du constructeur pour réduire au maximum la traînée aérodynamique.

Conduite en ville

- **De 0 à 50 km/h** : s'il est possible de maintenir sa vitesse à 50km/h, il convient d'accélérer pour ●●●



Type de conduite	Parcours	Vitesse moyenne	Consommation moyenne	Temps de parcours
Conduite normale à l'aller	124,1 km	61,6 km/h	5,6l/100 km	2 heures
Ecoconduite au retour	124,6 km	62 km/h	4,2l/100 km	2 heures

Clio 5 portes, 1.5 dCi 85 ch. Poids du véhicule (hors options, toit ouvrant, etc.) = 1175 kg



Si le feu vient de passer au rouge, couper le contact.

Thierry Blanquet, pilote chez Renault, donne ses conseils pour une conduite économe.

atteindre le plus vite possible cette vitesse tout en passant les rapports avant 2000 tr/min (cette valeur peut être un peu plus élevée sur des voitures plus puissantes que notre Clio). Sur la Clio, nous pouvions rouler à 50 km/h en quatrième, voire en cinquième. Il est préférable d'atteindre très vite les 50 km/h et de stabiliser sa vitesse sur un rapport élevé plutôt que d'accélérer très doucement sans utiliser les rapports les plus élevés.

● **Arrêt à un feu** : si le feu vient juste de passer au rouge, couper le contact. Une dizaine de secondes moteur éteint suivies d'un redémarrage consomment moins que 10 secondes au ralenti.

● **Entre deux feux** : inutile d'accélérer si l'on sait que le deuxième sera rouge. Essayer de ne pas s'arrêter. Doser sa vitesse pour arriver au vert sans devoir rétrograder et relancer la voiture.

● **Dans la circulation** : éviter l'effet accordéon. Laisser partir la voiture qui précède et rouler en première ou en seconde (si c'est possible) sans accélérer, au régime du ralenti. Essayer de ne pas s'arrêter pour ne pas avoir à relancer la voiture.

● **Dos-d'âne** : rétrograder juste avant le dos-d'âne. On peut par exemple se laisser aller en cinquième puis rétrograder directement en troisième quelques dizaines de mètres avant pour profiter du frein moteur.

Conduite sur nationales et départementales

● **De 0 à 90 km/h** : la première phase, de 0 à 50 km/h, se fait comme en ville, le plus vite possible, avec changement de rapport sous les 2000 tr/min. Puis, durant la deuxième phase, de 50 à 90 km/h, il faut se placer sur le rapport le plus élevé tout en accélérant faiblement.

● **Rond-point** : anticiper l'arrivée sur un rond-point de manière à ne pas devoir s'y arrêter (quand c'est possible). L'idéal est de passer à une vitesse suffisante et constante sans toucher au levier de vitesses et sans avoir à relancer la voiture en sortie.

● **Virages** : maintenir une vitesse raisonnable, mais la plus stable possible entre ligne droite et virages. Éviter au maximum de rétrograder.

Conduite sur autoroute

● **Vitesse** : maintenir sa vitesse à 120 km/h. Les 10 km/h d'écart avec la vitesse autorisée n'auront pas un gros impact sur la durée du parcours. Par contre, cela abaissera sensiblement la consommation, qui augmente avec le carré de la vitesse.

● **Distances** : garder des distances confortables pour pouvoir maintenir une vitesse stable sans devoir changer de rapport lors des dépassements.

OLIVIER HERTEL

La ConvAirCar, conçue par Theodore Hall, s'envole en 1947 dans le ciel californien.



SAN DIEGO AEROSPACE MUSEUM. PHOTO TIRÉE DE "LES VOITURES VOLANTES" DE P. GYGER, ÉDITIONS FAVRE, 2005

Le futur rêvé des voitures volantes

Au temps des pionniers, la voiture et l'avion grandissent côte à côte. Bricoleurs géniaux et ingénieurs visionnaires rêvent de les télescoper.



Comment échapper aux tracas des encombrements ? En 1940, Henry Ford l'annonce : « *Souvenez-vous de ce que je vais vous dire : une combinaison de l'avion et de l'automobile va voir le jour. Vous pouvez sourire. Mais ça viendra...* »

Patrick J. Gyger, conservateur de la Maison d'Ailleurs, le musée de la science-fiction, de l'utopie et des voyages extraordinaires à Yverdon-les-Bains (Suisse), a compilé délires d'ingénieurs, initiatives de bricoleurs plus ou moins éclairés et rêves de SF. De nombreux engins roulants ont vraiment volé. Cet âge d'or remonte aux années 1950, quand ces appareils de libération personnelle que sont les voitures quittent les couvertures

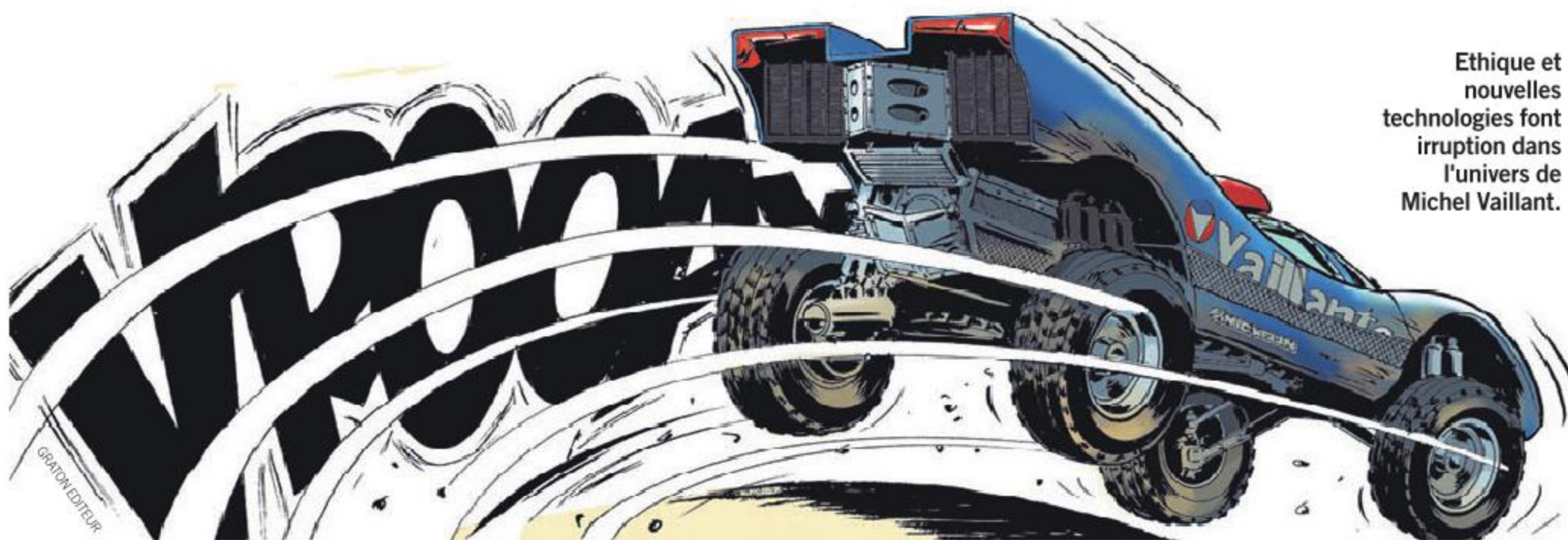
des magazines, où ils nous faisaient fantasmer, pour s'égarer dans la réalité, grâce à l'obstination radicale de quelques inventeurs. L'avènement de l'ère industrielle se conjugue alors au désir culturel de parcourir la troisième dimension. La science-fiction prendra le relais dans les années 1980. Ce livre présente notre monde tel qu'il aurait pu être, et révèle un dialogue permanent entre les contraintes du réel et les visions d'hommes qui tentaient de façonner un futur grandiose. Une iconographie somptueuse, rebondissante, fraîche, aérienne... avec pin-up d'époque.

YVES BLANC

Les voitures volantes, souvenir d'un futur rêvé

Patrick J. Gyger, Favre, 2005, 38 €

Ouvrage disponible sur www.ailleurs.ch



Ethique et nouvelles technologies font irruption dans l'univers de Michel Vaillant.

De l'hydrogène dans les Vaillante



L'indestructible Michel Vaillant (50 ans de carrière, 70 albums au compteur) passe à l'hydrogène ! Dans *China Moon*, il profite du premier Grand Prix de Shanghai pour présenter la Vaillante Xing-Qiu, la première voiture à hydrogène prête à être produite en grande série, à une Chine qui n'a « qu'une obsession : la réussite. La consommation, l'autosatisfaction immédiate, s'appropriier les symboles du succès, dont le premier est l'automobile, Monsieur Vaillant », explique une jeune Chinoise à un Michel un tantinet déboussolé. Le scénario est signé Philippe Graton, fils du grand Jean, sur des dessins du Studio Graton, s'il vous plaît. De somptueuses voitures, des per-

sonnages désuets et délicieusement atemporels. Chez Michel Vaillant, les calandres évoluent plus vite que la psychologie. Et, finalement, n'est-ce pas bien ainsi ? Dans le volume suivant, *Hors-piste en enfer*, l'un des buggys Vaillante engagés au rallye d'Orient est secrètement équipé d'un moteur à hydrogène. Lors de la compétition, Michel découvre que les sièges de ses voitures sont fabriqués en Turquie... par des enfants !

Y.B.

China Moon,

Jean Graton, Philippe Graton, Graton éditeur, 48 p., 12 €

Hors-piste en enfer

Jean Graton, Philippe Graton, Graton éditeur, 48 p., 12 €

Amour, gloire et beauté



Un peu vieillot d'apparence, ce livre vous embarque pourtant dans le rêve. Il regroupe toutes les voitures de légende : la prestigieuse Citroën Traction avant côtoie la 4CV populaire, tandis que la Jaguar type E rutilante suit la Ford Mustang... toujours en production. Le plus : l'auteur nous livre une anecdote – parfois croustillante – pour chaque voiture : entre l'accident de Françoise Sagan au volant de son Aston-Martin cabriolet et la course poursuite de Roger Moore et Tony Curtis dans un épisode de la série *Amicalement vôtre...* l'automobile se forge une légende. A.K.

Voitures audacieuses. Enthousiasmes et déceptions de l'aventure automobile

Aurélien Gueldry, ETAI, 2006, 128 p., 31 €



Elles font encore rêver... les trois best-sellers de Citroën : la DS, la Traction avant, la 2 CV.

Energie, l'heure des bilans



Pour comprendre les limites d'une filière énergétique, au-delà de toute considération

politique ou économique, il est salutaire de se plonger dans la physique de base. C'est le point de départ de l'ouvrage de Pierre Papon, qui explique de manière très pédagogique, avec beaucoup d'éléments d'histoire des sciences, un certain nombre de notions fondamentales. Suit une analyse des marchés économiques et la présentation de plusieurs scénarios possibles, selon les choix politiques et énergétiques de demain. Eclairant et essentiel.

AZAR KHALATBARI

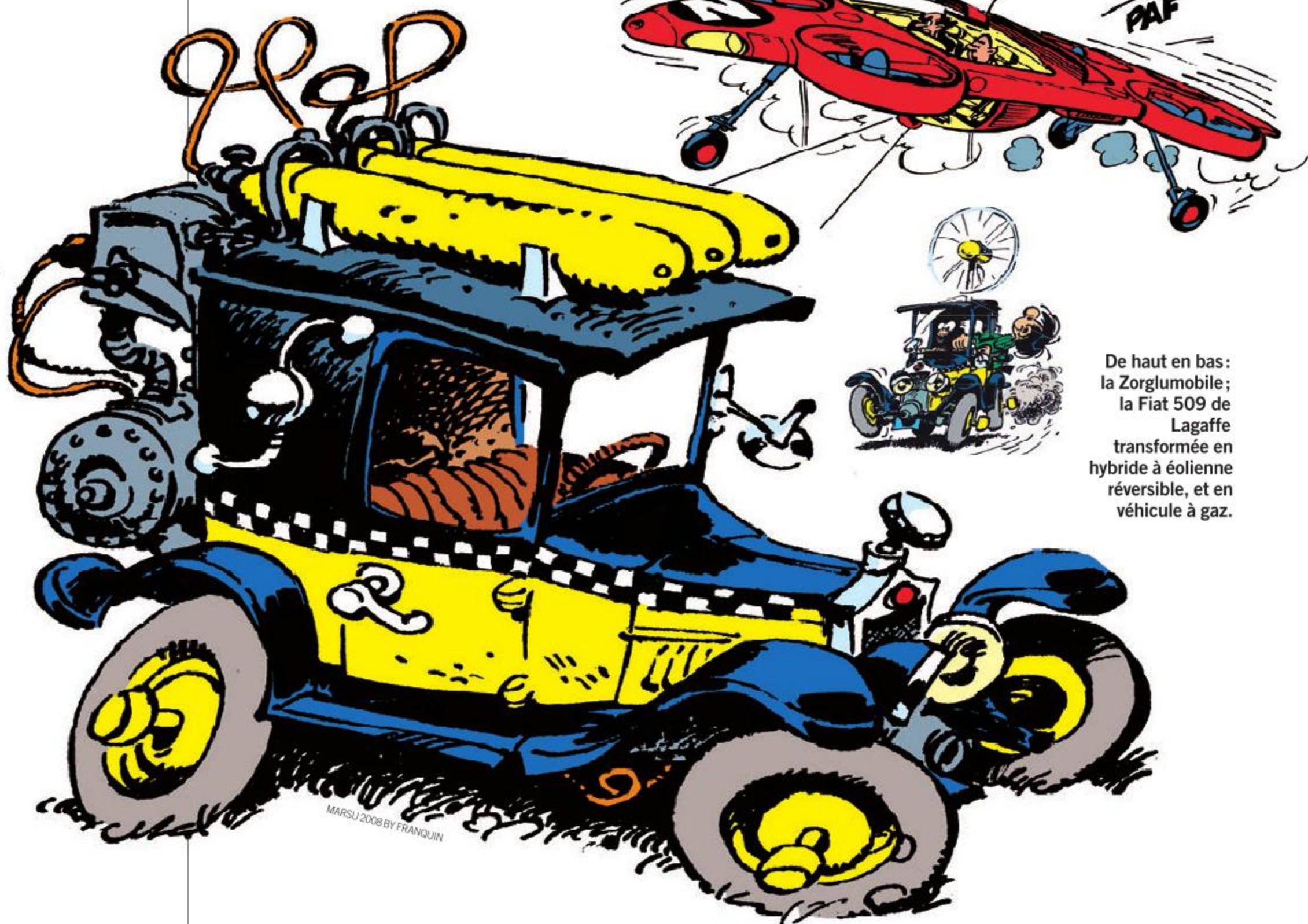
L'Energie à l'heure des choix

Pierre Papon, Belin,

Pour la science, collection

«Regards», 2007, 288 p., 21 €

Les engins déjantés de Franquin



De haut en bas :
la Zorglumobile ;
la Fiat 509 de
Lagaffe
transformée en
hybride à éolienne
réversible, et en
véhicule à gaz.

Machines rutilantes ou guimbardes délirantes : jamais un dessinateur de BD n'aura célébré la voiture avec autant d'imagination et de précision que Franquin.



Cet album compile les véhicules dessinés par Franquin tout au long de sa carrière, des bondissantes Citroën DS 19 à la splendide Turbotraction II, en passant par l'improbable Zorglumobile. Dès 1970, alors que le pétrole coule à flots, Gaston équipe sa Fiat 509 (couleur Marsupilami) de différents équipements alternatifs : un gazo-gène à charbon, un moteur électrique à pile Lagaffe (le premier modèle manque tellement d'autonomie que la voiture doit rester reliée à la prise de la salle de bains). En 1967, Franquin invente le filtre à particules, un ballon gonflable fixé à la sortie d'échappement. Et, en 1980, il conçoit la première voiture hybride à éolienne réversible : une hélice sur le toit fabrique de l'électri-

cité, stockée dans une batterie. Quand Gaston coupe le moteur thermique, la batterie alimente l'hélice, qui se met à tourner en sens inverse pour propulser le véhicule. Plus tard, il s'essaiera au moteur à paperasse, une idée lumineuse car la matière première ne manque pas. Gaston va également expérimenter une ribambelle d'additifs pour améliorer le rendement de son antique Fiat 509... qui émettra systématiquement de vigoureuses volutes violettes.

Un recueil très documenté, avec fiche technique sur chaque véhicule... et galerie de personnages (Spirou, Fantasio, Seccotine, Modeste, Pompon...), déjà épuisé, mais qui sera réédité en fin d'année. Y.B.

Le Garage de Franquin, Xavier Chimits, Pedro Inigo Yanez, Marsu Productions, 60 p.

Rallye futuriste en Alaska



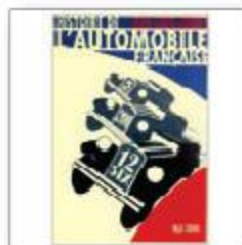
Golden Cup, c'est l'histoire d'un rallye-raid planétaire et non polluant. Des routes sinueuses des Rocky Mountains aux pistes forestières canadiennes, ce 3^e tome de la série entraîne les bolides futuristes et amphibies à un train d'enfer jusqu'en Alaska. L'un des moments forts sera la traversée du détroit de Béring par des véhicules (voitures, camions, quads et motos) profilés façon science-fiction. Le dernier volume de cette aventure paraîtra en juin. Les concurrents traverseront la Russie, la Sibérie, la Mongolie, pour atteindre la Chine où ils croiseront la route de commandos écolos radicaux, armés jusqu'aux dents. De belles voitures dans de beaux décors, avec de belles couleurs, sur un scénario un peu faiblard. Y.B.

Golden Cup tome 3: Des loups dans la spéciale, Daniel Pecqueur, Alain Henriot, Pierre Schelle, éd. Delcourt, 48 p., 12,90 €



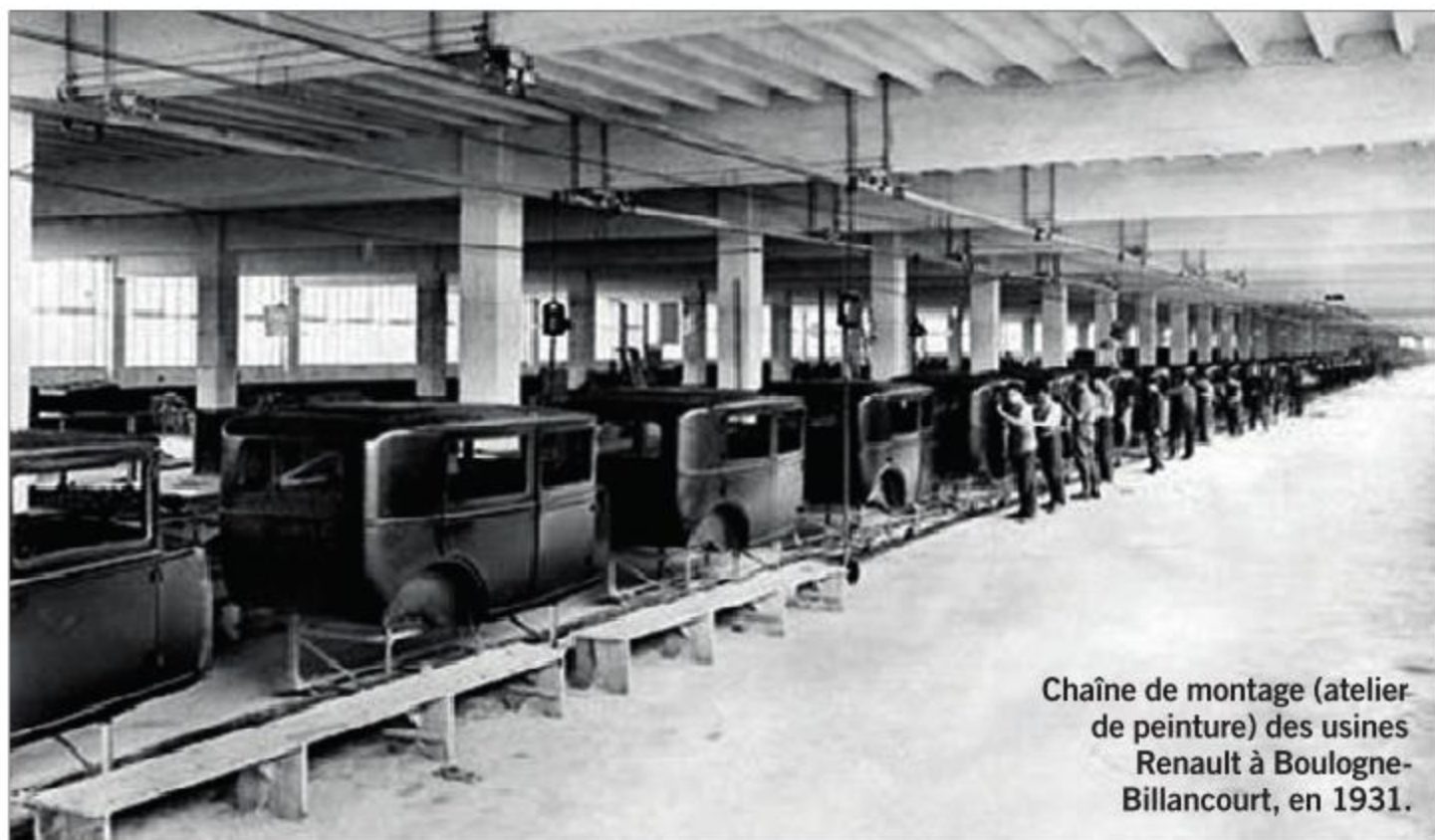
Polar éco-techno pour une course exotique.

Un siècle de révolutions



En 1895, la toute première course de vitesse automobile s'élance entre Paris et Bordeaux: 1 200 kilomètres aller-retour en 100 heures maximum. Emile Levassor arrive premier avec 24 km/h de moyenne, mais le règlement lui retire la victoire: les voitures participantes devaient être des quatre-places, la sienne n'en a que deux. Un petit rappel historique qui souligne l'engouement de la France pour l'automobile dès ses débuts. En 1900, l'Hexagone fabrique 4 800 voitures, contre 800 seulement pour les Allemands et 175 pour les Britanniques. Une aventure que nous raconte avec talent Jean-Louis Loubet, professeur d'histoire contemporaine à l'université d'Evry, dans un texte foisonnant d'anecdotes. Où l'on apprend comment les marques françaises ont négocié le virage des crises économiques, le passage à la consommation de masse et la révolution marketing. Au final, l'auteur nous brosse le portrait d'un secteur pionnier dans le domaine de l'innovation technologique et des avancées sociales (3^e et 4^e semaines de congés payés, paiement des jours fériés...). Bref, à travers l'automobile, c'est, sur plus d'un siècle, toute l'histoire économique et sociale de notre pays qui se redessine. A.K.

Histoire de l'automobile française, Jean-Louis Loubet, Le Seuil, 2001, 576 p., 24 €



Chaîne de montage (atelier de peinture) des usines Renault à Boulogne-Billancourt, en 1931.

Contre la tyrannie automobile



Voici deux petits livres revendiquant haut et fort leur statut

de pamphlets non pas contre l'automobile, mais contre sa toute-puissance envahissante. Leur point de départ est le même: la liberté de mouvement ne doit pas être inféodée à un moyen de transport, qui est « l'industrie phare du système capitaliste » et une bombe à retardement pour l'environnement, voire l'origine de conflits armés comme en Irak... Un discours parfois extrême, qui égrène cependant des idées pertinentes. A.K.

Automobile, pétrole, impérialisme Hosea Jaffe, Parangon, collection « Pamphlets », 2004, 90 p., 7 €

La Tyrannie de l'automobile. Du rêve à la calamité Pierre Gillet, Homnisphères, collection « Expression directe », 2007, 110 p., 10 €

Le temps de tous les possibles



Sous une présentation un peu austère, ce livre très complet explore l'ensemble des

solutions possibles pour que l'automobile s'adapte aux exigences du XXI^e siècle: voiture électrique, moteur à eau, biocarburants..., leur intérêt et leurs limites. Malgré quelques graphiques et équations un peu ardues, l'auteur réalise un réel effort pédagogique pour expliquer des notions fondamentales. Techniques – différence entre énergie, puissance et rendement, principe de la combustion – mais aussi économiques – analyses du marché, impact des taxes sur le développement d'une filière... Une bonne base pour se forger une opinion. A.K.

Vers la voiture sans pétrole? François Roby, EDP Sciences, 2006, 280 p., 16 €



Hollywood: quarante ans de road movies

De l'innocence nostalgique des seventies à la sévérité sociale contemporaine, des paysages, des filles et des bagnoles rejouent la conquête de l'Ouest.

Hollywood et l'industrie automobile, c'est une longue histoire. Vrombissante de voitures emblématiques. La fameuse Mustang de Steve McQueen dévalant les rues de San Francisco dans *Bullitt* (Peter Yates, 1968) est l'héroïne de la première poursuite automobile véritablement mise en scène. Une autre Mustang est le fil rouge de *U Turn*, polar mésestimé d'Oliver Stone (1997) : alors que son cabriolet rouge vient de péter une durite, un petit escroc se trouve piégé dans une bourgade paumée en plein Arizona, qu'il ne parviendra plus à quitter... Les trois Austin Mini de *L'or se barre* (Peter Collinson, 1969) permettent aux auteurs d'un casse de s'exfiltrer de Turin, bloquée par un embouteillage monstre qu'ils ont eux-mêmes organisé. Pour le remake de 2003, *Braquage à l'italienne* (F. Gary Gray), les Austin ont été rem-

placées par des Mini d'aujourd'hui, ludiques et surgonflées comme de super-jouets. L'idée de la poursuite en Mini Cooper est également exploitée par Doug Liman dans *La Mémoire dans la peau* (2002), en plein Paris. L'un des précurseurs du road movie, genre cinématographique à lui tout seul, est *Macadam à deux voies* (Monte Hellman, 1971), qui vient de sortir en DVD. Deux jeunes gens traversent les Etats-Unis en voiture, participant pour survivre à des courses clandestines à la périphérie des villes. Son réalisateur parlera de « randonnée immobile sur le vide »... Lancé par Universal après l'énorme succès d'*Easy Rider* (Dennis Hopper, 1969), ce film très Nouvelle Vague, avec James Taylor au volant de la Chevy 55, a fait un bide lors de sa sortie. Resté invisible durant trente ans, il est devenu culte.



PHOTOS : COLLECTION CHRISTOPHE L.

Fruit d'une idéologie contestataire, la contre-culture des 60's, le road movie reste pourtant ancré dans l'identité américaine. Entre chevauchée mécanique et voyage initiatique, c'est le rêve des pionniers qui, un beau matin, dans l'espoir de se réaliser enfin, ont pris la route, cette piste qui file droit vers des espaces sans limite. Une métaphore de la vie, du temps qui passe : la croisée des chemins, les rencontres, les voies sans issue, la fuite. On y retrouve l'errance du cow-boy solitaire. Le road movie esquisse en creux le portrait d'une société qui n'aime pas sa jeunesse, il témoigne d'un mal de vivre, d'une quête ultime de cette liberté perdue. D'où l'absence fréquente de happy end.

Culte entre tous, avec sa bande-son soul, le formidable *Point limite zéro* de Richard C. Sarafian (1971), où la Dodge Challenger incarne à merveille le symbole de liberté que représente la voiture individuelle aux États-Unis. Cette course contre la montre à travers l'Amérique profonde, poussiéreuse et assoupie, devient revendication politique désespérée et radicale. Le héros solitaire fédère plusieurs minorités de paumés, mais la fuite est sa seule issue. Sur un thème assez proche, *Sugarland Express* (prix du meilleur scénario à Cannes, 1974), réédité en mai, réalisé par Spielberg entre *Duel* et *Les Dents de la mer*, est tiré d'un authentique fait divers : des parents déchus de leurs droits décident de récupérer leur enfant coûte que coûte. S'ensuit une cavale à travers le Texas, avec prise d'otage et 150 véhicules de police à leurs trousses.

Derrière *Le Canardeur*, titre français ridicule de *Thunderbolt & Lightfoot* (Michael Cimino, 1974), se cache un road movie au sens le plus littéral, où l'héroïne est moins la voiture que la route elle-même. Deux bras cassés (Clint Eastwood et le jeune Jeff Bridges, nommé aux Oscars pour ce rôle) y traînent leurs guêtres, de piètres casses en pistes poussiéreuses, au travers d'une Amérique laissée sur le bas-côté. Il ne faut pas oublier que le grand Clint lui-même s'est frotté au genre, avec un film original et bien ficelé, quoique sous-évalué, *L'Épreuve de force* (1977). Un vrai road movie, haletant, à travers l'Arizona et le Nevada, plus jazzy que country – mais toujours le Midwest, toujours les années 1970...

A l'autre bout du monde, dans une Australie dévastée et intemporelle, *Mad Max* (George Miller, 1979), à bord de sa Ford Falcon coupée, gère violemment les dernières gouttes de pétrole. Bien plus léger, *American Graffiti* (George Lucas, 1973) célèbre l'innocence nostalgique du début des années 1960, ses *hot roads* rutilantes, ses *drive-in* animés et son rock'n'roll endiablé. L'animation n'est pas en reste. Avec *Cars* (2006), John Lasseter réalise un rêve de gosse : des voitures qui parlent, sur la route 66 oubliée par les *highways*. Dans *Kalifornia* (Dominic Sena, 1992), les années ont passé et, avec elles, la fraîcheur des 70's. La route et la bagnole sont toujours là, mais la poésie naïve a laissé place à une réalité sociale sévère. L'atmosphère est lourde, la vie devenue difficile. L'Ouest reste ●●●

COURSES-POURSUITES

A gauche : *Duel*, film mythique de Steven Spielberg : une Valiant y est traquée par un poids lourd dont on ne verra jamais le conducteur.

A droite : en haut, *Sugarland Express*, la cavale d'un couple à travers le Texas.

En bas, dans *Bullitt*, Steve McQueen et sa Mustang, héroïne de la première vraie poursuite automobile du cinéma.



A gauche, *Point Limite Zéro* : une fuite sans issue sur les routes poussiéreuses d'Amérique qui devient revendication politique désespérée. Ci-dessous, *Macadam à deux voies* et *Boulevard de la mort*.



PHOTOS : COLLECTION CHRISTOPHE L.



Macadam à deux voies
Monte Hellman (1971), Carlotta



Point limite zéro
Richard C. Sarafian (1971), Fox



Sugarland Express
Steven Spielberg (1974), Aventi

●●● attirant, mais la virée tourne au cauchemar pour Brad Pitt, Juliette Lewis et David Duchovny (Monsieur X-Files). *Thelma et Louise* (Ridley Scott, 1991) est le road movie de la petite bourgeoisie des années 1990 naissantes. Sous le lustre de la société contemporaine sourd la brutalité de l'Amérique profonde. *Boulevard de la mort* (Quentin Tarantino, 2007) incarne une version moderne et dérisoire de *Point limite zéro* – sous influence *Crash* (le formidable roman de J.G. Ballard, et non la piètre adaptation de Cronenberg en 1996). Des filles et des voitures (toutes *seventies* : Chevrolet Nova, Dodge Charger, Dodge Challenger, Mustang), une histoire décousue et outrancière qui mélange les genres.

Dans une veine plus imaginaire, certains véhicules s'animent de sentiments, voire prennent vie : quand l'espionne *Coccinelle* de Walt Disney (Robert Stevenson, 1968) roule toute seule, la fantastique *Christine* de John Carpenter (1983), une Plymouth Fury 1958, est prête à tuer. Une autre Plymouth, la Valiant de *Duel* (Steven Spielberg, 1971), affronte un poids lourd (un Peterbilt 351) sur les routes californiennes, sans qu'on distingue jamais le visage du camionneur. Les poids lourds occupent évidemment une place privilégiée dans la culture nord-américaine. Dans les grandes plaines, les chauffeurs ont remplacé les cow-boys, mais incarnent le même rêve de liberté. Sur des airs country, Sam Peckinpah a réalisé le film culte de camions *Le Convoi* (1978), avec Kris Kristofferson et

Dans les grandes plaines américaines, un même rêve de liberté

la sublime Ali MacGraw, dans lequel une colonne de routiers entre en dissidence face à des forces de l'ordre bornées, qui stigmatisent la fin des grands espaces. Dans *Maximum Overdrive* (1986), Stephen King pousse encore le bouchon plus loin : les poids lourds prennent leur autonomie et semblent vouloir nettoyer la surface du globe de toute présence humaine.

Parfois visionnaire, le cinéma est également une mine de technologies futuristes. La kitsch Batmobile originale (d'abord série télé, en 1966) est en fait une Lincoln Futura 1955, transformée par les accessoiristes en trois semaines... avec téléphone embarqué ! La mythique Aston Martin DB5 de James Bond (équipée notamment d'un système de navigation, ancêtre du GPS), le bolide qui remonte le temps de *Retour vers le futur* (Robert Zemeckis, 1985), et l'Audi futuriste de Will Smith dans *I, Robot* (Alex Proyas, 2004) sont bien plus que des accessoires. Ils ont intégré la dramaturgie.

La science-fiction ajoute souvent une troisième dimension, la vision de villes au développement vertical : ce sont les voitures à décollage vertical de *Blade Runner* (Ridley Scott, 1982, et son sublime *final cut* de 2007, voir *Sciences et Avenir* n° 732, février 2008), les taxis volants du *Cinquième Élément* (Luc Besson, 1997) et d'*Immortel* (Enki Bilal, 2004), ou les véhicules à sustentation magnétique de *Minority Report* (Steven Spielberg, 2002).

Le mythe du road movie n'a pas fini de nous entraîner dans des lignes de fuite au potentiel illimité. Sortis récemment : *Into the Wild* (Sean Penn, 2007), *My Blueberry Nights* (Wong Kar-Wai, 2007), *Julia* (Erick Zonca, 2008). Et en 2009, *My Own Love Song* : un road movie qu'Olivier Dahan, auréolé de son succès pour *La Môme*, devrait tourner avec Sharon Stone, entre Kansas et Louisiane. Prochainement en DVD... **YVES BLANC**

“ Grâce à SFA,
j'ai enfin une nouvelle cuisine ”



influence

La gamme de pompes SFA permet
d'installer facilement une cuisine,
une buanderie ou une douche partout
dans la maison sans gros travaux.



Avec SFA, ma maison vaut plus !

8, rue d'Aboukir - 75002 Paris
Tél. : 01 44 82 39 10
Fax : 01 44 82 39 01 - www.sfa.fr

N° Vert 0 800 05 15 25

SFA



Objectif -25% de CO₂ en 2012

En 2007, nous avons pris l'engagement de passer au vert. Aujourd'hui, notre flotte de véhicules hybrides Toyota Prius a doublé et nos chauffeurs sont sensibilisés à l'écoconduite. Nous sommes fiers de poursuivre notre engagement en nous appuyant sur une Charte de Comportement Ecologique. N°1 du taxi en Europe, notre objectif est clair : réduire de 25% les émissions de CO₂ d'ici à 4 ans.

TAXIS **G7**

Le taxi prend de l'avance

taxisg7.fr

3607 (0,15€/mn)