

Le Diesel aux États-Unis

Dans les années 70, la technologie Diesel avait une image de marque négative aux États-Unis en raison du manque de performances et de fiabilité constaté sur certains modèles. Avec l'apparition des problèmes de gaz à effet de serre au cours de la décennie 90, la motorisation Diesel pourrait représenter une solution potentielle à court terme pour diminuer les émissions de CO₂, en complément des véhicules hybrides. Mais cette diésélisation du marché automobile américain ne serait pas sans conséquences sur l'outil de raffinage américain.

En Amérique du Nord, la technologie Diesel dans les voitures a été marginalisée dès le début des années 70 et demeure actuellement l'apanage des poids lourds. Les moteurs Diesel n'équipent aujourd'hui que 0,1% du parc de véhicules légers des États-Unis. Une situation qui ne semblait pas devoir évoluer jusqu'à une date récente, dans la mesure où l'opinion publique américaine semblait réticente à leur réintroduction (moteurs peu performants) et que cette technologie avait une image négative au plan environnemental.

En dépit de ce handicap, les pouvoirs publics, tant au niveau national qu'au niveau local, et les industriels semblent réexaminer leur position sur le Diesel en raison des progrès accomplis par cette technologie au cours des dernières années et des enseignements de l'expérience européenne. Alors que la question des gaz à effet de serre et, dans une moindre mesure, celle de la dépendance énergétique se posent aux États-Unis avec une acuité croissante, les prémices d'un éventuel retour de la motorisation Diesel se précisent.

La contrainte environnementale

Selon l'*US Energy Information Administration* (EIA), les États-Unis seraient responsables d'environ un quart des émissions mondiales de CO₂, ces émissions pouvant atteindre 1,7 milliard de tonnes métriques en 2005.

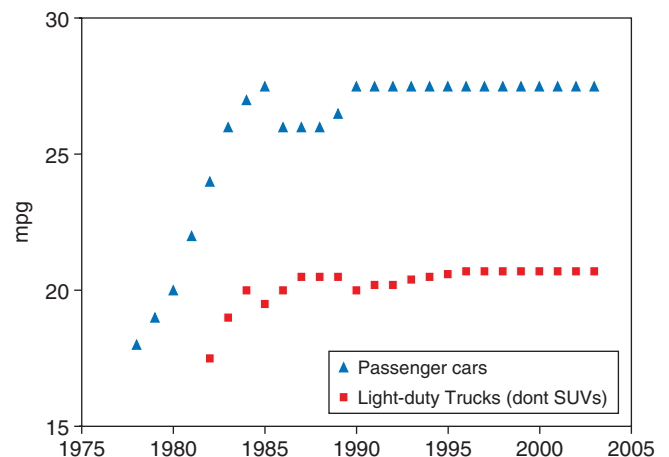
Plusieurs raisons peuvent expliquer cet accroissement de près de 400 millions de tonnes métriques par rapport au niveau de 1990. Initiés à la suite des chocs pétroliers des années 70, les gains d'efficacité énergétique se sont largement ralentis à partir de l'effondrement des cours du brut en 1986. Cette situation a entraîné l'accroissement de la consommation énergétique, accentué par une croissance économique forte dans les années 90 et, plus récemment, par le développement marqué des véhicules consommateurs d'énergie (*sport-utility vehicles SUVs*, vans et pickups essence). Face à ce constat, et malgré la volonté des États-Unis de ne pas ratifier le Protocole de Kyoto, l'administration Bush a lancé en 2002 un programme alternatif intitulé « *Clear Skies Initiative* », visant notamment

la réduction des émissions de gaz à effet de serre de 18 % sur les dix prochaines années, ainsi que celles de NO_x et SO_x.

Dans ce cadre, le secteur des transports a été plus particulièrement sollicité, en raison de sa part prépondérante dans la consommation pétrolière américaine (autour de 70 % en 2002) et de sa contribution à hauteur d'un tiers des émissions américaines de gaz à effet de serre. À côté de la promotion d'énergies et de motorisations alternatives (hydrogène, biocarburants : solutions à long terme), ce programme incite ce secteur à réaliser des progrès dans le domaine des motorisations essence et Diesel traditionnelles, ce qui va dans le sens des objectifs visés par l'*Environmental Protection Agency* (EPA).

Depuis sa création dans le cadre du *Clean Air Act* (CAA) en 1970, cette agence dispose en effet de toute autorité en matière de régulation et de contrôle de l'efficacité énergétique et des émissions de polluants locaux (HC, CO, NO_x et particules) et sur les normes de consommation des véhicules.

Fig. 1 Normes CAFE aux États-Unis (miles par gallon)



Ainsi, après les normes CAFE (*Corporate Average Fuel Economy*) de consommation moyenne appliquées depuis 1975

Le Diesel aux États-Unis

à l'ensemble des automobiles commercialisées par chaque constructeur, cette agence a édicté des standards d'émissions spécifiques à différentes gammes de véhicules, avant de les redéfinir conjointement avec les spécifications-carburants dans le cadre des programmes de carburants à basse teneur en soufre.

Ainsi, dans le cadre des *Clean Air Act Amendments* de 1990, l'EPA a imposé une réduction de la teneur en soufre du gazole routier à 500 ppm à compter de 1993, dans le but de faciliter le respect des normes d'émissions spécifiques aux bus et camions Diesel, définies en 1985 et appliquées en 1994. Dans le même temps ont été établis les programmes de reformulation des essences (RFG), puis de standards d'émissions des véhicules essence et Diesel dits légers (TIER I) destinés à la vente et distingués alors en trois catégories (par ordre décroissant de sévérité des normes) :

- les *passenger vehicles*, PV, (tels que les berlines) et *light-duty vehicles* de moins de 3750 pounds ;
- les *light-duty trucks* de moins de 5750 pounds, regroupant les SUVs, les vans et les pickups ;
- les *light-duty vehicles* de plus de 8500 pounds.

Visant aujourd'hui à accentuer l'efficacité des technologies avancées de contrôle d'émissions envisagées pour les véhicules, ce souci de convergence des normes d'émissions et de qualité des carburants inspire les futurs projets de l'EPA sur les carburants à très basse teneur en soufre. Cette volonté se retrouve au niveau de l'expérience californienne en matière de réglementation de la pollution atmosphérique, qui relève du *California Air Resources Board* (CARB).

En octobre 2002, l'EPA a ainsi finalisé son programme TIER II, établissant une réduction de la teneur en soufre des essences (30 ppm en moyenne et 80 ppm maximum à partir de 2005), ainsi qu'un durcissement des normes d'émissions définies sous TIER I, regroupant pour la première fois dans une même catégorie l'ensemble des véhicules dits légers (< 8500 pounds), des berlines aux SUVs. **Se focalisant plus particulièrement sur les émissions de NO_x, l'EPA a, par ailleurs, durci les standards d'émissions des véhicules Diesel tout en fixant un objectif de 15 ppm de soufre dans le gazole routier à partir de juin 2010, cet Ultra Low Sulfur Diesel (ULSD) devant représenter 80 % du marché dès 2006.**

Certaines de ces mesures s'inscrivent dans le programme *National Low Emission Vehicle* (NLEV) : négocié en 1998 entre l'EPA, les États et les constructeurs automobiles. Il intègre notamment les valeurs limites d'émissions de NMOG (*Non Methane Organic Gas*), NO_x, CO, particules et HC retenues dans le programme LEV défini par le CARB (entré en vigueur en 1994). Par ailleurs, le *National Highway Transportation Safety Administration* (NHTSA) du *Department of*

Transport (DOT) a proposé un durcissement progressif des normes CAFE appliquées aux light-duty trucks incluant les SUVs de 20,7 à 22,2 miles par gallon d'ici à 2007 (contre 27,5 mpg constant pour les voitures particulières).

Enfin, l'EPA a également défini en 2002 des standards d'émissions de différents engins non routiers (TIER 3), dont certains consomment du gazole. Ce dernier pourrait également se voir imposer un durcissement de ses spécifications (dont le soufre) à l'instar de son homologue routier.

Situation du marché automobile

Les ventes de berlines Diesel ont toujours représenté une part très faible des ventes de véhicules aux États-Unis, entre 20 et 40 000 véhicules particuliers sur les quinze dernières années, soit 0,2 à 0,4 % des immatriculations de ce marché.

Au début des années 80, à la suite des deux chocs pétroliers, les ventes de berlines Diesel ont augmenté pour approcher près de 100 000 unités. À l'époque, les projections du DOT affichaient 20 % de berlines Diesel en 1990. Mais, les fluctuations du prix du gazole, les baisses de celui de l'essence ainsi que les déconvenues technologiques (manque de fiabilité des solutions développées alors) ont conduit au déclin rapide du Diesel aux États-Unis dans le domaine automobile.

Les normes CAFE auraient dû motiver les constructeurs pour développer l'offre Diesel aux États-Unis. Mais, leur aspect peu contraignant dans les années 80-90 a permis aux groupes automobiles américains et japonais, qui dominent le marché et ne disposaient alors pas des avancées technologiques atteintes par les constructeurs européens, de continuer à centrer leur production sur les véhicules à essence. Cette évolution a notamment favorisé le développement sur le marché automobile de la gamme des SUVs et pickups à consommations unitaires élevées.

Aujourd'hui, les signes précurseurs d'un retour possible des motorisations Diesel aux États-Unis apparaissent au travers des annonces de différents constructeurs, parmi lesquels certains tablent sur une pénétration du Diesel sur le segment des VP à hauteur de 10 % pour le début de la prochaine décennie. Leur principal argument se base sur l'avantage de cette motorisation en termes de consommation et de réduction de gaz à effet de serre (GES). L'intérêt des constructeurs américains pour la motorisation Diesel pourrait se manifester pour les véhicules fortement consommateurs de carburants et correspondant aux goûts des consommateurs américains.

Par ailleurs, les technologies de traitement à l'échappement des NO_x et des particules sont nombreuses pour les motorisations Diesel : catalyse De NO_x, piège à NO_x, filtre à particules et

Le Diesel aux États-Unis

Selective Catalyst Reduction à base d'urée (pour les camions exclusivement).

Dans ce contexte, les constructeurs présents aux États-Unis commencent à développer leur offre Diesel. Daimler-Chrysler devrait commercialiser en 2004 une jeep Liberty fonctionnant au gazole. Par ailleurs, le constructeur allemand Volkswagen, qui est le seul à commercialiser des véhicules Diesel aux États-Unis, a l'intention de renouveler sa gamme en proposant des modèles avec des motorisations TDI. Enfin, Mercedes envisage la commercialisation d'un de ses modèles en version Diesel.

Mais, ces constructeurs vont se heurter à des problèmes spécifiques à la situation du Diesel aux États-Unis :

- prix de l'essence légèrement inférieur à celui du gazole (37 cents/gallon contre 39 cents/gallon) ;
- mauvaise image des motorisations Diesel (bruyantes et polluantes) ;
- surcoût engendré par le respect des normes d'émissions prévues en 2007 (NO_x et particules), qui atteindrait 1500 à 2000 \$ par véhicule selon les constructeurs automobiles ;
- qualité du gazole moteur inférieure à celle observée dans l'Union européenne.

Fig. 2 Spécifications du gazole aux États-Unis et en Europe

| | Europe | | États-Unis | |
|---------------------------|--------|---------|------------|------|
| | 2000 | 2005 | 1993 | 2006 |
| Indice de cétane | 51 | 51 | 40 | 40 |
| Aromatiques (% vol.) | | | 35 | 35 |
| Polyaromatiques (% poids) | 11 | 11 | | |
| Soufre (ppm) | 350 | 50 & 10 | 500 | 15 |

En revanche, ils pourraient profiter de la dernière version de la loi sur l'énergie, entérinée au mois de novembre 2003 par la Chambre des représentants, qui prévoit des incitations fiscales en faveur des moteurs de nouvelle génération fonctionnant au gazole. Cette disposition avait déjà été prévue pour les véhicules hybrides.

Le raffinage américain : pourra-t-il répondre à une croissance de la demande en gazole ?

À côté des nouveaux standards d'émissions définis pour différentes gammes de véhicules, l'EPA préconise une réduction drastique (97 %) du soufre contenu dans le gazole routier, dont 80 % du marché devrait consister en ULSD à 15 ppm de soufre dès 2006, contre 500 ppm aujourd'hui.

Des expériences industrielles récentes tant en Europe (Scanraff en Suède, BP au Royaume-Uni) qu'aux États-Unis (Arco en Californie) ont montré la faisabilité technique de produire un gazole à très basse teneur en

soufre moyennant certaines modifications des technologies existantes : taille du réacteur, conditions opératoires plus sévères (température, pression), consommation d'hydrogène plus élevée, utilisation de catalyseurs plus performants, sélection optimisée des charges traitées (gazole léger de distillation issu de bruts moins soufrés).

Cependant, la configuration actuelle des raffineries américaines pourrait rendre difficile la généralisation de ces solutions aux États-Unis. En effet, orientées vers les essences qui représentent aujourd'hui 45 % de leur production (contre 25 à 30 % en Europe), les raffineries américaines sont essentiellement équipées de schémas de conversion de type craqueur catalytique (FCC) + cokéfaction. Les coupes gazole de ces schémas étant de mauvaise qualité, la construction de nouvelles unités de désulfuration à haute pression pourrait dès lors être rendue nécessaire. Selon l'EIA, la moitié des raffineries américaines (soit 63 % des 2 Mb/j d'ULSD supposés produits en 2006 selon l'EIA) pourrait se satisfaire d'un simple remodelage (*revamping*) de ses unités de désulfuration actuelles, ces raffineries disposant de niveaux modérés de bases-distillats de conversion, d'un approvisionnement en bruts relativement peu soufrés et d'unités d'hydrotraitement modernes de grandes capacités mises en place au début des années 90 pour satisfaire aux 500 ppm de soufre. Plus optimiste, l'EPA considère qu'un taux de production remodelée de 80 % est possible, en se fondant sur des hypothèses de coûts plus faibles et de comportement d'investissement plus actif des raffineurs.

Dès lors, s'il est acquis que tous les raffineurs américains investiront à temps pour satisfaire les normes en soufre des essences, leur décision est moins claire dans le cas de l'ULSD, dont la production est trois à quatre fois inférieure à celle de leur produit phare. En effet, certains raffineurs pourraient profiter de l'existence d'autres marchés de distillats moins contraignants (*non-road*) pour écouler une partie de leurs bases-distillats HS, retardant voire évitant ainsi toute innovation en matière d'hydrotraitement du gazole. Selon une étude réalisée pour l'American Petroleum Institute (API) par Charles Rivers Association/Baker and O'Brien (CRA/BOB), ceci pourrait se traduire par un déficit d'ULSD de l'ordre de 320 000 b/j en 2006.

Hérité de leur expérience de surcapacités induites par le programme RFG au début des années 90, ce comportement d'investissement prudent des raffineurs américains est d'autant plus accentué aujourd'hui qu'ils évaluent difficilement leur capacité d'adaptation aux nouvelles normes. Cela résulte d'un certain nombre d'incertitudes quant à l'évolution à terme :

- **de l'ampleur réelle de la demande d'ULSD (2 à 3 Mb/j selon les sources) et des normes imposées aux autres distillats sur les marchés off-road.** De ces facteurs

Le Diesel aux États-Unis

découleront non seulement les différentiels de prix sur les différents marchés du gazole, mais aussi, l'ampleur du besoin de désulfurer des bases-gazoles difficiles, qui représente l'un des paramètres clés du coût d'hydrodésulfuration, si l'on considère que des solutions alternatives plus économiques (adsorption ou oxydation) sont aujourd'hui à l'état de recherche ;

- **des performances et du déploiement commercial réel des différentes technologies catalytiques avancées de contrôle des émissions de NO_x et de particules**, éléments déterminants pour la définition du niveau de soufre effectivement requis pour le gazole routier (dans la mesure où les technologies envisagées se distinguent notamment par leur sensibilité au soufre) ;
- **de la disponibilité des ressources d'ingénierie et de construction**, qui devront satisfaire dans le même temps les normes essences (2005) et gazole (2006), ainsi que celle de certains équipements jugés critiques mais émanant aujourd'hui d'un nombre restreint de fabricants dans le monde.

Dans ce contexte, il est encore difficile d'évaluer l'impact de la régulation ULSD sur les dépenses d'investissement que les raffineurs américains devront réaliser.

Pour preuve, les écarts conséquents entre les différentes évaluations publiées sur ce sujet, qui s'échelonnent entre 3 et 13 G\$ d'investissement pour la production d'ULSD. À titre d'exemple de ces estimations, les analyses d'équilibre de long terme de l'EIA (*National Energy Modeling System*, mai 2001) conduisent, entre 2006 et 2010, à des investissements dans le raffinage compris entre 6,3 et 9,3 G\$ (dont 4,2 d'ici à 2006). L'EIA évalue par ailleurs entre 6,5 et 10,7 cents par gallon l'accroissement du prix de vente du gazole routier sur cette période. Ces fourchettes correspondent à des hypothèses proches de celles retenues par l'EPA (borne inférieure) et l'industrie pétrolière (*National Petroleum Council*, borne supérieure). Le NPC affiche, quant à lui, un montant de 4,1 G\$ pour le seul objectif de 30 ppm en 2006.

Sur la base d'hypothèses plus optimistes, l'EPA estime que la réglementation ULSD induira des dépenses totales de capital de l'ordre de 5,3 G\$ (dont 3,6 d'ici à 2006). Plus précisément, elle évalue à 50 M\$ le coût moyen complet (capital + coût opératoire) requis par raffinerie pour la désulfuration du Diesel, comparés aux 44 M\$ estimés pour satisfaire les seules normes TIER 2 (soufre des essences). Dès lors, l'EPA juge cet effort soutenable par l'industrie du raffinage, puisqu'il ne correspond environ qu'aux 2/3 des investissements environnementaux opérés entre 1992 et 1994 pour satisfaire à la fois le marché des essences reformulées et du gazole à 500 ppm de soufre.

Enfin, l'EPA n'envisage pas une modification profonde de l'équilibre de l'offre à la demande d'ULSD en 2006.

Elle considère, en effet, que certains raffineurs investiront le plus tôt possible pour profiter de marges temporairement élevées, voire pour vendre des crédits aux retardataires.

Par ailleurs, elle compte sur des importations en provenance du Canada, qui s'aligne progressivement sur la réglementation environnementale des États-Unis, mais aussi de l'Europe, dont la contribution aux importations américaines de gazole routier s'élève actuellement à 5 % environ. Selon l'EIA, cette dernière hypothèse est peu réaliste dans la mesure où la spécification de soufre du gazole routier européen ne s'établira qu'à 50 ppm en 2005 (avec un pourcentage croissant de 10 ppm à partir de 2007) et où seules des incitations fiscales contribuent aujourd'hui à la production d'un gazole à 10 ppm de soufre. En d'autres termes, la « déviation » de la production européenne d'ULSD vers le marché américain reposera sur l'existence d'un différentiel de prix entre les deux zones supérieur à cet avantage fiscal augmenté du coût de transport.

Quel positionnement pour le Diesel par rapport aux autres solutions alternatives ?

La motorisation Diesel peut apparaître comme une solution sur le court terme pour lutter contre la progression des gaz à effet de serre et plus particulièrement les émissions de CO₂ rejetées par le parc automobile américain. Cependant, ceci ne sera effectif que si cette technologie répond, par ailleurs, aux exigences environnementales sur les particules et les NO_x et si le raffinage américain améliore la qualité moyenne du gazole produit (soufre, mais aussi indice de cétane).

D'autres voies font toutefois l'objet de l'attention des industriels du secteur automobile. Ainsi, le véhicule hybride à essence s'inscrit dans la continuité par rapport au véhicule à combustion interne actuel. Il offre de bonnes opportunités de réduction des consommations d'énergie et des émissions de CO₂ au niveau du véhicule à hauteur de 20 à 40 % par rapport au moteur conventionnel actuel.

Dans ce domaine, les constructeurs japonais, et plus particulièrement Toyota, sont en avance et proposent des berlines hybrides au Japon, en Europe, mais aussi États-Unis, où ils dominent un marché encore marginal. Toyota a été le premier constructeur à proposer un véhicule hybride à essence dans sa gamme à la fin des années 90 : il s'agit de la Toyota Prius dont le groupe japonais va proposer la deuxième version. Il compte étendre sa gamme hybride au pickup et au segment haut de gamme. Honda et Nissan proposent également un véhicule hybride dans leurs gammes respectives.

Le Diesel aux États-Unis

De leur côté, les constructeurs américains tentent une pénétration timide sur le segment des voitures hybrides, après n'avoir montré jusqu'à récemment que peu d'intérêt pour ce type de motorisation. Dans ce cadre, General Motors est le constructeur américain le plus actif : après avoir affiché des objectifs ambitieux reposant sur le lancement de trois versions différentes de moteurs hybrides d'ici à 2007 pour équiper une douzaine de véhicules, le groupe se concentre finalement sur les modèles fortement consommateurs de carburants (4x4, SUVs). Pour sa part, Ford a pris un an de retard pour le développement de son unique véhicule hybride, alors que Chrysler a réduit ses projets à seulement un pickup hybride.

À plus long terme, l'hydrogène et son utilisation dans une pile à combustible (PAC) pour alimenter un moteur électrique sont présentés comme une solution que le gouvernement américain souhaite développer pour réduire le poids du pétrole dans le secteur des transports. Mais plusieurs obstacles à ce développement existent aujourd'hui en termes de technologies (stocker l'hydrogène ou le produire à bord du véhicule) et de coût de fabrication de la PAC, environ 100 fois supérieur à celui

d'un moteur thermique classique, ce qui ne permet pas d'envisager un déploiement à court et moyen terme.

En conclusion, la motorisation Diesel peut apparaître comme une solution pour réduire les gaz à effet de serre aux États-Unis, sous réserve de la conformité aux normes d'émissions édictées par l'EPA sur les polluants. Mais, sa pénétration sur le marché automobile américain dépendra de la politique du gouvernement américain en matière de réduction des GES dans le secteur automobile, des choix industriels des constructeurs automobiles présents aux États-Unis et de l'acceptation des consommateurs qui ont le souvenir de l'expérience négative des années 70. Enfin, la capacité des raffineurs à modifier leur outil pour répondre aux spécifications 2006 et à produire un gazole de qualité constitue également un élément déterminant.

*Bernard Bensaid
bernard.bensaid@ifp.fr*

*Valérie Saint-Antonin
valerie.saint-antonin@ifp.fr*

Manuscrit définitif remis le 10 décembre 2003

