

Le système Filtre A Particules (FAP®) : une rupture technologique au service de l'environnement

PSA PEUGEOT CITROEN

Préambule p5

Introduction p6

I. Le système FAP : une rupture technologique p8

I.A. L'avancée technologique : le système FAP, nouvel élément de la grappe d'innovations « automobile » p8

▪ I.A.1. Le moteur HDI (1998) : un pré requis nécessaire p8

Un nouveau mode d'injection intégralement pilotable p8

Une réduction importante des émissions à la source (polluants réglementés et gaz à effet de serre) p9

▪ I.A.2. L'innovation du système FAP : un filtre qui se régénère p10

Qu'est-ce qu'une particule diesel ? p10

Un filtre capable de supporter la régénération et de retenir les particules en laissant passer les gaz d'échappement p13

La régénération, clé du système FAP, et le chaînon manquant : les 400° Celsius p14

Le système FAP : un système séquentiel p16

▪ I.A.3. L'évolution de l'innovation : trois générations en cinq ans p16

I.B. Les moyens mis en œuvre p17

▪ I.B.1. Le rôle des acteurs et du système p17

La volonté de la Direction Générale de PSA Peugeot Citroën p17

L'efficacité d'une organisation du travail spécifique p18

Un effort organique de Recherche et Développement considérable p19

▪ I.B.2. Une mise au point dans un environnement de haute technologie p19

Des procédés sophistiqués et normalisés p19

Mesurer à la limite du mesurable p21

▪ I.B.3. Un investissement raisonnable p22

II. Au service de l'environnement pour l'intérêt collectif p23

II.A. Le système FAP : un instrument de la politique environnementale du groupe qui s'insère dans un contexte global p23

- **II.A.1. La diffusion du concept de développement durable** p23
- **II.A.2. L'industrie automobile et l'environnement** p24
 - L'évolution des effets de l'industrie automobile sur l'environnement* p24
 - La nécessité d'une politique à grande échelle* p24
- **II.A.2. L'engagement de PSA Peugeot Citroën** p25
 - Les engagements externes de PSA Peugeot Citroën* p25
 - Dans l'entreprise* p25

II.B. Le système FAP : un impact positif reconnu sur l'environnement p26

- **II.B.1. La reconnaissance publique : la validation de l'ADEME, Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie** p26
 - Présentation de l'ADEME* p26
 - L'objet du programme de recherche* p26
 - Les modalités de l'expérience* p27
 - Les résultats du programme de recherche* p27
- **II.B.2. L'efficacité mise à l'honneur par des professionnels de l'automobile** p29

II.C. Les répercussions du système FAP sur les réglementations européennes p30

III. Un levier de croissance pour l'entreprise p31

III.A. Une innovation nécessaire à la survie du diesel et au renforcement de son avantage concurrentiel p31

- **III.A.1. Les points à améliorer du diesel** p31
 - La combustion diesel : un rendement élevé...* p31
 - ...Mais une production de particules inhérente au système de combustion* p31

| | |
|--|-----|
| <i>Les années 1990 : les années noires du diesel</i> | p31 |
| ▪ III.A.2. Le système FAP confère un dynamisme supplémentaire au marché du diesel | p32 |
| <i>Le marché des véhicules diesel neufs</i> | p32 |
| <i>Le cas particulier du marché d'occasion</i> | p32 |
| ▪ III.A.3. Un élément de démarcation par rapport aux concurrents | p33 |
| III.B. Qui bénéficie au groupe entier | p34 |
| ▪ II.B.1 Un facteur de renforcement de la cohésion du personnel et de l'esprit d'équipe | p34 |
| ▪ III.B.2. Un atout en terme d'image et de notoriété pour le groupe | p34 |
| III.C. Un outil de conquête à l'export : le cas exemplaire de l'Allemagne | p35 |
| ▪ III.C.1. Les spécificités du marché allemand | p36 |
| ▪ III.C.2. L'arrivée du système FAP en Allemagne : un accueil contrasté | p36 |
| <i>Les réactions positives</i> | p36 |
| <i>La polémique</i> | p38 |
| ▪ III.C.3. L'influence du système FAP sur les projets d'incitation fiscale en Allemagne | p38 |
| <i>Les projets allemands d'incitation fiscale</i> | p38 |
| <i>Le post-équipement : un concept simplificateur</i> | p39 |
| ▪ III.C.4. L'impact commercial du système FAP pour Peugeot en Allemagne | p39 |
| <i>Une diffusion qui s'appuie sur une publicité spécifique</i> | p39 |
| <i>Une notoriété accrue</i> | p39 |
| <i>Un marché en croissance</i> | p40 |

Conclusion p42

Annexes p43

Préambule

Cette étude, effectuée pour les Entretiens Louis le Grand des 29 et 30 août 2005, a été réalisée au printemps 2005 par une équipe projet constituée de :

- Mme Marie-José Courcol, professeur de Sciences Economiques et Sociales au lycée Blaringhem de Béthune (Académie de Lille),
- Mlle Marie-Sophie Lalo, stagiaire de Sciences Po Paris au sein de la Direction de la Communication de PSA Peugeot Citroën,
- sous la conduite de M. Marc Bocqué, de la Direction de la Communication Corporate du groupe PSA Peugeot Citroën en charge de l'innovation, de la Technologie et de l'Environnement.

L'étude s'est fondée sur des rencontres avec des « grands témoins » pluridisciplinaires internes et externes au groupe PSA Peugeot Citroën qui ont participé ou assisté à l'avènement de l'innovation du système Filtre à Particules.¹

¹ Voir annexes : liste des personnes rencontrées.

I. Introduction

Innover pour maintenir et renforcer le leadership de PSA Peugeot Citroën sur le marché du Diesel et améliorer l'intégration de l'automobile à l'environnement

Réconcilier croissance et environnement par le biais de l'innovation pour servir à la fois la communauté et l'entreprise

Depuis les années 1990, l'automobile est mise au banc des accusés en tant que facteur de pollution locale et globale. Dans les années 1990-1995, la motorisation Diesel a été très attaquée par les hommes politiques, d'autres constructeurs automobiles et les associations écologiques. Elle était en effet attaquable du fait des fumées noires visibles qui se dégageaient de l'échappement dans certaines circonstances de vie du véhicule. Ces défauts allaient jusqu'à faire relativiser son atout principal : la diminution de la consommation en carburant et donc du rejet de gaz à effet de serre. Il s'agit en effet du moteur thermique le plus efficace qui existe.

Or PSA Peugeot Citroën est LE constructeur dieséliste de l'histoire : la Peugeot 402 Diesel a ainsi été lancée dès 1936. Le groupe, qui croit au Diesel pour le futur, a le sentiment d'avoir perdu l'avance technologique qu'il détient depuis les années 1970-1980. En effet, il n'a pas pris le tournant de l'injection directe pour les véhicules particuliers par exemple, contrairement aux constructeurs allemands. Le constructeur français s'interroge alors sur le moyen de reprendre le flambeau du progrès technique et décide de produire le moteur HDi (High Pressure Direct Injection / injection directe, haute pression) en série et à grande cadence.

Mais au milieu de ce développement, on voit s'élever une critique environnementale, particulièrement virulente au sujet des nuisances résiduelles du moteur Diesel : les particules. Le choix du HDi se révèle-t-il impossible ? Le développement d'un dispositif éliminant les particules s'avère nécessaire. Pour ne pas se heurter à une opposition insurmontable, PSA Peugeot Citroën prend donc la décision d'annoncer la sortie du système Filtre à Particules (FAP) pour fin 1999, malgré les réserves techniques qu'impliquait une échéance si rapprochée. Le monde automobile s'étonne de cette prise de risque qui, à l'époque, déclenche une certaine suspicion chez les autres constructeurs quant à l'efficacité et la durabilité du système.

Le lancement s'opère dans les temps : le système FAP est présenté officiellement le 15 avril 1999 lors d'une conférence de presse à la Grande Galerie de l'Evolution du Muséum d'Histoire Naturelle de Paris et en mai 2000, première mondiale, la 607 équipée d'un système FAP sort des usines PSA Peugeot Citroën.

L'innovation du système FAP est donc une stratégie pour rester leader sur le marché du Diesel en intégrant les contraintes environnementales et démontre qu'une politique environnementale peut conduire à une plus grande rentabilité économique.

PSA Peugeot Citroën :

- 3,4 millions de véhicules commercialisés en 2004.
- 5,6% de parts de marché mondial en 2004.
- Deuxième constructeur européen avec 14,7% de parts de marché. Le groupe PSA Peugeot Citroën est premier sur les marchés français (31,9% de parts de marché), espagnol, belge, portugais et danois : il est deuxième sur les marchés italien, autrichien, néerlandais, grec et suisse. Sa pénétration est supérieure à 10% dans 14 des 17 pays d'Europe de l'Ouest.
- Près de 200 000 collaborateurs dans le monde entier.

I. Le système FAP : une rupture technologique

Il n'y a pas d'innovation ex-nihilo. L'aboutissement réussi du système FAP en 2000 est le résultat de la conjonction de plusieurs facteurs : le progrès technologique allié à des moyens humains, techniques et financiers. Le système FAP est le fruit d'une capitalisation technique sur plus de 15 ans qui a permis une accélération du processus de mise au point concluante, par la mobilisation d'une équipe pluridisciplinaire de 70 personnes sur 18 mois.

I.A. L'avancée technologique : le système FAP, nouvel élément de la grappe d'innovations « automobile »

■ I.A.1. Le moteur HDi (High Pressure Direct Injection / injection directe, haute pression) : un pré requis nécessaire

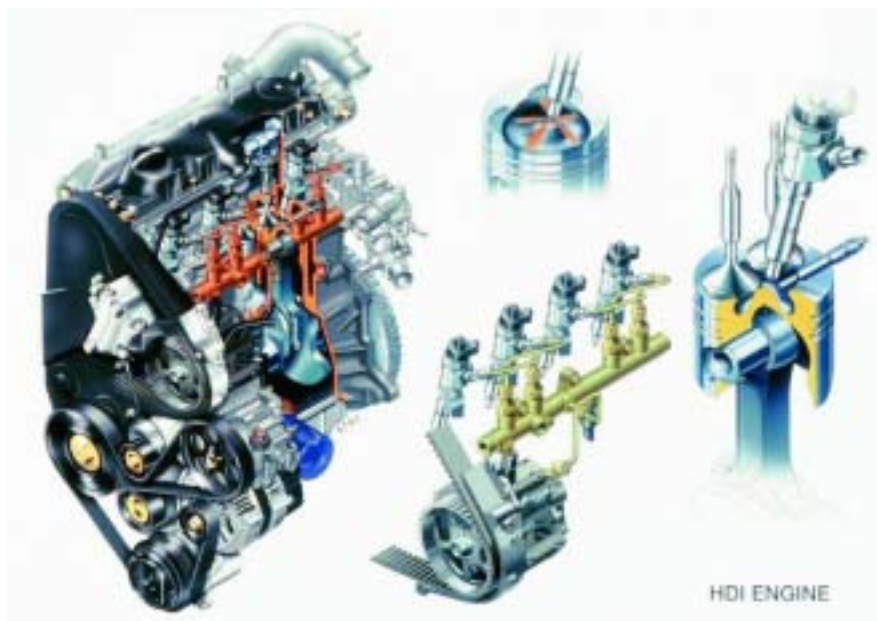
Le succès du système FAP peut se comprendre a posteriori car il fait suite à une technologie qui lui prépare le terrain. Dès les années 1970, certains constructeurs européens s'intéressent déjà au problème de dépollution du Diesel. Des concepts de filtres à particules ont été expérimentés en 1975-1976 par Mercedes. Mais il manquait alors un système de régénération autonome et ces essais se sont révélés prématurés par rapport aux technologies disponibles. Il fallait donc attendre l'invention du moteur HDi pour pouvoir ensuite envisager le système FAP.

Un nouveau mode d'injection intégralement pilotable

Le moteur HDi, lancé en 1998, applique à la combustion Diesel la technologie du Common Rail (rail commun), qui correspond à un nouveau mode d'injection découplé de la mécanique et permettant la très haute pression et la flexibilité d'injection.

Cette innovation consiste en un dispositif déconnecté du système d'injection mécanique. Dans le moteur Diesel traditionnel, le carburant est injecté par une pompe mécanique, ce qui ne permet pas une grande souplesse. Or c'est la quantité de gazole injecté qui détermine la puissance du moteur. A mi-charge et mi-régime, l'injecteur laisse passer 20 µg/coup, les injecteurs correspondant à des soupapes fermées par des ressorts qui s'ouvrent et se ferment sous l'effet de la pression. Le système du Common Rail du moteur HDi sépare les différentes fonctions de l'injection. La pression, autrefois uniquement définie par le ressort, est désormais variable et le système d'injection contrôlé par un système électronique indépendant. Ce dispositif, le calculateur, réalise une série d'opérations qui activent les injecteurs selon un programme préétabli. Il donne au moteur plus de couple (réactivité, calculée en Nm : newton par mètre). Etant découplé de la mécanique, le système permet de générer plusieurs injections au cours d'un cycle moteur : les injections multiples.

On compte aujourd'hui trois injections, contre une auparavant et cinq demain. La première injection, l'injection pilote, ne donne pas de puissance mais diminue le bruit de trois décibels (c'est-à-dire le réduit de moitié, l'échelle étant logarithmique). Au point le plus haut, l'air occupe une place deux fois moindre à l'intérieur du cylindre, ce qui fait augmenter sa température : c'est là qu'intervient l'injection principale, qui donne sa puissance au moteur. La troisième injection, nous le verrons plus tard, est celle qui permet de réaliser la régénération du système FAP.



Moteur HDi (High Pressure Direct Injection / injection directe, haute pression), injection directe et combustion²



Maquette numérique du système d'injection du moteur HDi 1,6 l²

Une réduction importante des émissions à la source (polluants réglementés et gaz à effet de serre)

Le moteur HDi permet de réduire à la source les émissions de CO (monoxyde de carbone) de 40% (il est produit en cas de combustion incomplète, c'est-à-dire quand il n'y a pas assez d'air ; or le moteur Diesel fonctionne en excès d'air et produit donc peu de CO), de HC (hydrocarbures) de 50%, de particules de 60% et de CO₂ (dioxyde de carbone) de 20%. Ceci est lié à une moindre consommation de carburant (-20%) car il existe une relation linéaire entre la consommation et la diminution d'émissions de CO₂. A titre de comparaison, le

² Source : médiathèque PSA Peugeot Citroën.

protocole de Kyoto prévoyait en 1997 une diminution de 5,3% des émissions de gaz à effet de serre par rapport à la situation de 1990 pour une période cible fixée à 2008-2012, dans les pays ayant signé l'annexe 1 du protocole, c'est-à-dire les pays industrialisés. Enfin, le moteur Diesel apporte au conducteur un agrément supplémentaire grâce à la réduction du bruit et des vibrations.

| Polluants réglementés | Coefficient de réduction |
|--------------------------|--------------------------|
| Monoxyde de carbone (CO) | 40% |
| Hydrocarbures (HC) | 50% |
| Particules | 60% |

| Gaz à effet de serre | Coefficient de réduction |
|---------------------------------------|--------------------------|
| Dioxyde de carbone (CO ₂) | 20% |

Coefficients de réduction des émissions (polluants réglementés et gaz à effet de serre) grâce au HDi²

■ I.A.2. L'innovation du système FAP : un filtre qui se régénère

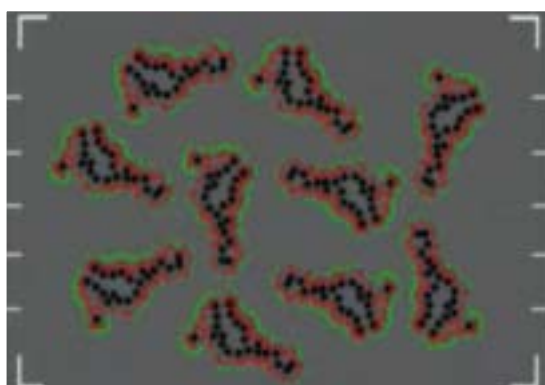
Le moteur Diesel comporte un point faible : les émissions de particules qui subsistent sous forme de fumées noires visibles par le grand public. Avec le moteur HDI, PSA Peugeot Citroën a franchi un pas supplémentaire dans la maîtrise de la combustion et des émissions de particules avec une réduction de 60% à la source. L'invention et la mise sur le marché du système FAP avaient pour objectif l'éradication des émissions particulières des motorisations Diesel équipant les véhicules particuliers.

Qu'est-ce qu'une particule Diesel ?

Les particules résultent de phénomènes de nucléation qui regroupent divers précurseurs issus de la chambre de combustion. Le phénomène se produit lors du refroidissement des gaz au niveau de l'échappement. Ces précurseurs sont essentiellement :

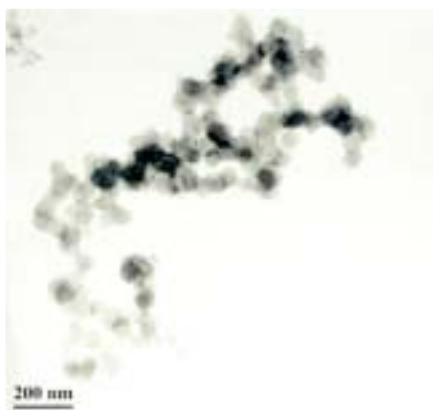
- des nano particules de carbone,
- des hydrocarbures imbrûlés,
- de la vapeur d'eau,
- des sulfates...

Les particules Diesel sont ainsi constituées d'agglomérats d'une taille comprise entre 10 nanomètres et 0,5 micron.



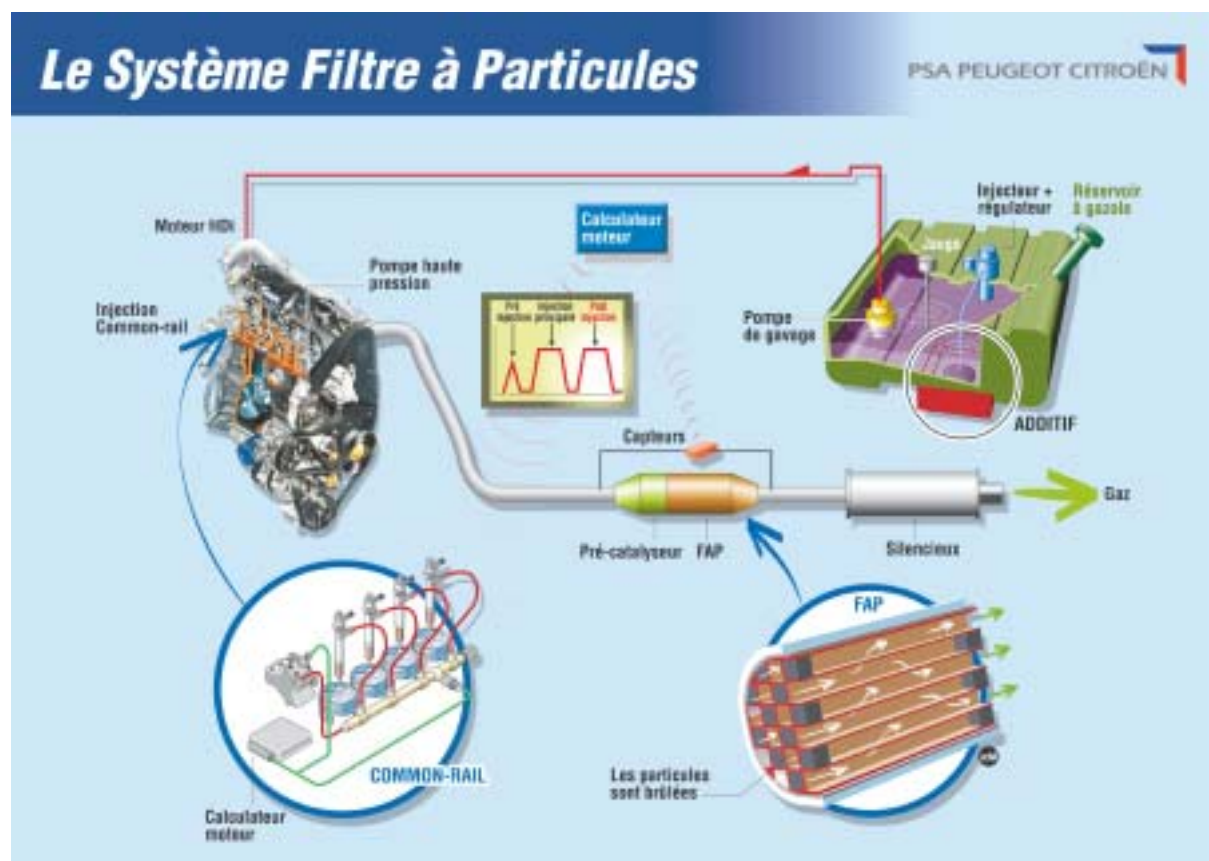
- Nano particules de carbone
- Hydrocarbures imbrûlés
- Sulfates hydratés

Particules Diesel vues au microscope électronique²

Particules Diesel vues au microscope électronique²

En utilisant pleinement les potentialités de l'invention en rupture du moteur HDi et de son système d'injection électronique (Common Rail), les ingénieurs de PSA Peugeot Citroën trouvent la solution au problème posé par les particules, grâce à l'action cumulée de la post-injection, du catalyseur d'oxydation et d'un additif présent dans le réservoir de carburant.

Le système FAP va donc permettre au moteur Diesel de conserver son atout majeur en matière de réduction des gaz à effet de serre (CO_2) en éradiquant son principal handicap : les émissions de particules. Il retient les particules émises sur un support filtrant puis les élimine en réalisant la combustion (la régénération) de manière transparente pour le conducteur, c'est-à-dire sans nuire à l'agrément de conduite. L'innovation du système FAP réside donc non pas tant dans la filtration, procédé déjà connu, que dans la régénération du système.





Maquette numérique du moteur HDi 1,6 l²

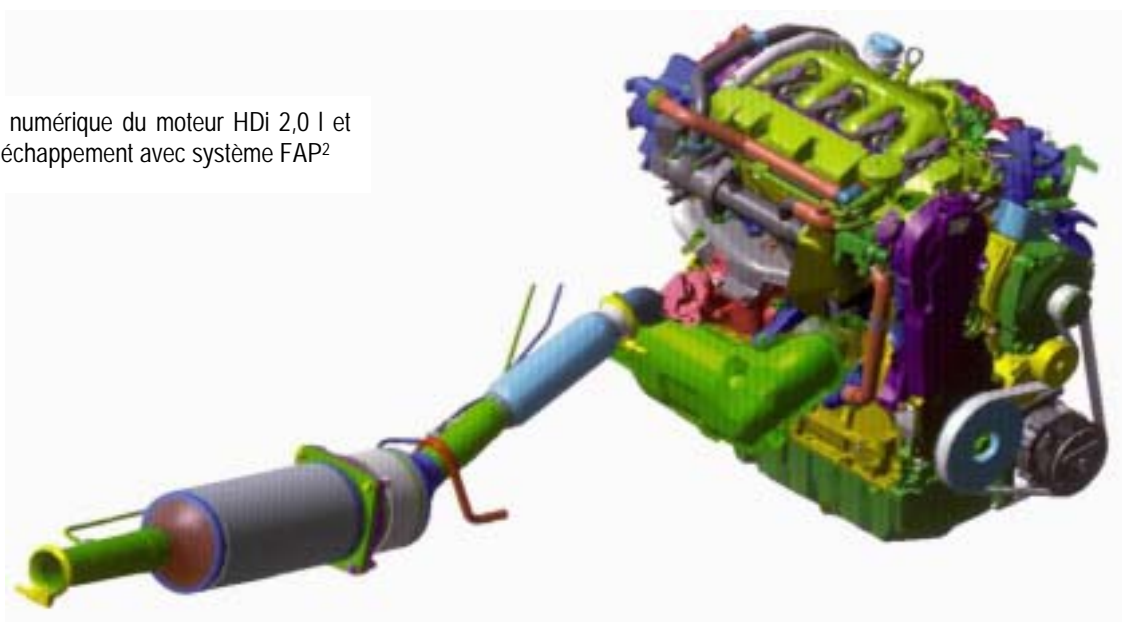


Moteur HDi 1,6 l²



Moteur HDi 2,0 l avec échappement et système FAP²

Maquette numérique du moteur HDi 2,0 l et la ligne d'échappement avec système FAP²



Un filtre capable de supporter la régénération et de retenir les particules tout en laissant passer les gaz d'échappement

Le filtre est le site de la combustion des particules. Le rôle du média filtrant est de retenir les particules tout en laissant passer les gaz d'échappement (ce qui suppose une faible contre-pression).



Maquette numérique du support filtrant FAP et de son canning sur moteur HDi 1,6 l²

Pour mettre en œuvre ce subtil compromis, PSA Peugeot Citroën a eu le choix entre le produit d'un gros fournisseur de céramique (Corning) et celui d'une petite entreprise japonaise (Ibiden). Le choix de PSA Peugeot Citroën s'est porté sur un matériau très dur en carbure de silicium fritté, proposé par Ibiden, car il présente une meilleure résistance thermo-mécanique et thermo-chimique (c'est-à-dire qu'il est capable de supporter des pics thermiques contrairement à l'autre matériau qui, soumis à des conditions de fonctionnement extrêmes, n'absorbe pas la chaleur et fond par endroits) et une meilleure conductivité thermique (c'est-à-dire qu'il est capable de dissiper la chaleur dans tout le pain).

Ce matériau robuste et fiable résulte d'un empilement d'atomes de silice et de carbone de taille différente cristallisés par un arc électrique. Le support filtrant est obtenu par extrusion à travers une filière dont la dureté est proche du diamant.

Ce filtre, long d'une trentaine de centimètres, est fabriqué par Ibiden à Courtenay (en France). 80 à 90% de la production de l'usine sont destinés au groupe PSA Peugeot Citroën. On peut s'étonner que le fabricant de ce matériau soit japonais dans la mesure où les véhicules Diesel ne sont pas très répandus au Japon, mais Ibiden est spécialiste en céramique et équipe déjà de filtres à particules des chariots élévateurs et autres véhicules de chantier (ces filtres se régénérant toutefois de manière assistée) et son savoir-faire est important.



Coupe du filtre à particules²



Analyse au microscope électronique de l'état de surface d'un échantillon de filtre à particules²

La régénération, clé du système FAP, et le chaînon manquant : les 400° Celsius

La température naturelle de combustion des particules (c'est-à-dire de régénération du filtre) est de 550° Celsius. Sur autoroute, la température des gaz d'échappement peut atteindre naturellement 550° Celsius et la régénération du filtre se fait spontanément mais cela est impossible en usage du type « taxi » (c'est-à-dire limité à 50km/h avec des arrêts fréquents), représentatif d'un profil d'usage essentiellement urbain, la température de départ des gaz d'échappement ne s'élevant alors qu'à 150° Celsius. Un ensemble d'éléments va permettre d'atteindre les 550° Celsius requis et d'effectuer la régénération.

Le système FAP réalise la régénération en trois à quatre minutes grâce à l'apport ponctuel de températures additionnelles obtenues par deux post-combustions (chambre de combustion et catalyseur d'oxydation) et à un additif injecté en permanence dans le réservoir de carburant. Cette durée de trois à quatre minutes, qui peut sembler longue, doit être relativisée car les retours d'expérience démontrent que la régénération n'intervient que tous les 850 km en moyenne.

- La post-injection, qui intervient dans la chambre de combustion dans la phase de détente du cycle moteur, engendre un accroissement de la température des gaz d'échappement de 200° Celsius.

Cette post-injection, « 5^{ème} temps du moteur Diesel », modifie au plan local la température et la composition chimique des gaz d'échappement au moment où le piston redescend. Elle produit d'un côté un effet thermique et donc une augmentation de la température des gaz d'échappement à l'intérieur du cylindre (par conséquent, on diminue d'autant l'injection principale), et de l'autre côté un effet chimique en générant des espèces hydrocarbonées.

- Les gaz d'échappement, enrichis de la sorte en hydrocarbures dont la combustion a lieu sur le catalyseur d'oxydation, entraînent un exotherme de 100° Celsius.

L'effet thermique du pré-catalyseur (catalyseur d'oxydation) augmente ainsi la température des gaz d'échappement de 100° Celsius.

Le pré-catalyseur, composé à base de platine, opère une combustion en surface. Il brûle les hydrocarbures (HC) non utilisées issues de la post-injection avec de l'oxygène (O₂) afin de respecter la réglementation qui impose un niveau minimal de HC. Il les transforme en eau (H₂O) et dioxyde de carbone (CO₂). Cette réaction produit également un effet thermique exotherme utile dans le cas présent.

- L'additif présent dans le réservoir de carburant permet de diminuer la température d'ignition des particules de 100° Celsius.

Il s'agit d'un mélange d'oxyde de fer et d'oxyde de cérium, appelé EOLYS. Le cérium est constitué de cérine, substance utilisée dans l'industrie optique et non toxique. Mélangé intimement aux suies, l'additif a un effet catalytique. Il libère de l'oxygène (comburant nécessaire à la combustion) au cœur de chaque particule (site actif), ce qui accélère la combustion en abaissant de 100° la température d'ignition des particules : c'est le but de l'additivation. En réduisant le temps de la régénération de 20 à 5 minutes, la surconsommation de carburant est très faible.

Avec un filtre catalysé, la régénération est plus longue (20 minutes) et risque d'être incomplète (taux de régénération de 50% au bout de 8 minutes), ce qui encrasse et endommage le filtre, pouvant mener à sa destruction.

Un filtre catalysé est une technique de filtration sans additif, qui intègre au sein du washcoat (c'est-à-dire de manière surfacique sur chaque canal élémentaire du filtre) des substances actives contribuant à la régénération du système FAP. La limite de cette technique est que les produits actifs ne sont pas au cœur de chaque particule élémentaire à régénérer et le risque de régénération avortée est très important, pouvant conduire à des défauts de robustesse et en dernier ressort à des pannes moteur.

Ainsi, un tel filtre élimine 30 mg de suies en 20 minutes alors qu'un filtre additivé nécessite seulement 4 minutes pour parvenir au même résultat. La

surconsommation induite est alors plus que doublée par rapport au filtre additivé. Par ailleurs, un filtre catalysé est plus sensible aux conditions de roulage qu'un filtre additivé et doit effectuer des régénérations plus fréquentes. Les conséquences de la multiplication de ces régénérations sont l'augmentation du volume du carter -due à l'augmentation de la quantité d'huile-, une plus grande fragilité du turbo -causée par la baisse du pouvoir lubrifiant de l'huile mélangé au gazole- et la surchauffe des gaz d'échappement, ce qui implique un matériau en acier enrichi plus solide nécessairement plus coûteux.

C'est le système de traitement de l'information (un calculateur dédié au lancement, une fonction intégrée au calculateur aujourd'hui) qui mesure la quantité nécessaire d'additif et l'injecte dans le carburant à raison de 15 ppm (parties/millions) d'éléments actifs. Cet additif doit être organique et soluble dans tous les carburants afin que la régénération se fasse de façon transparente pour le conducteur. Le réservoir de 3,5 litres est rempli une fois pour toutes par le concessionnaire. Cet additif est fabriqué par Rhodia.

Le système FAP : un système séquentiel

Le système FAP fonctionne sur un principe de stockage / destockage des particules dans le filtre. Il n'élimine pas les particules en continu car la température des gaz d'échappement n'atteint pas 550° Celsius en permanence, à part sur autoroute. Dans les autres cas, le calculateur détermine les conditions optimales de température pour déclencher la post-combustion.

Le moment idéal pour régénérer le filtre est calculé en fonction de la perte de charge (différence de pression à l'entrée et à la sortie du filtre) mais aussi des conditions d'accumulation des particules, c'est-à-dire de l'arrangement aléatoire des suies dans le filtre, du nombre de kilomètres parcourus, de la vitesse moyenne, du type de roulage... Il ne faut pas attendre que le filtre soit trop plein pour effectuer la régénération car dans ce cas, celle-ci engendrera un effet exothermique trop important et destructeur que le filtre ne supportera pas. La quantité maximale de suies acceptable est de 8 grammes par litre. La régénération s'effectue environ tous les 850 km. Lorsque les conditions permettant la régénération s'interrompent brusquement (immobilisation du véhicule), la régénération s'arrête également et reprendra ensuite au point où elle en était restée.

L'impact de cette régénération sur les émissions cumulées du véhicule est à peine perceptible : essentiellement du dioxyde de carbone (CO₂), produit final de toute combustion, ainsi que de très faibles quantités de monoxyde de carbone (CO) et d'hydrocarbures (HC).

■ **I.A.3. L'évolution de l'innovation : trois générations en cinq ans**

Le système FAP en est aujourd'hui à sa troisième génération, chacune permettant d'espacer l'entretien et donc de diminuer les coûts pour l'utilisateur.

La première génération de système FAP, lancée en mai 2000, prévoyait un entretien au bout de 80 000 km.

En novembre 2002, la mise en œuvre de l'additif EOLYS seconde génération (EOLYS 176) permet de repousser l'échéance de la maintenance à environ 120 000 km selon les modèles équipés.

La dernière évolution majeure a lieu en 2003 avec l'apparition du filtre octosquare (structure poreuse en nid d'abeille), capable de stocker une plus grande quantité de particules grâce à sa géométrie inédite et asymétrique et au diamètre plus important de ses canaux d'entrée.

Dans cette nouvelle architecture du filtre, les cellules d'entrée à volume augmenté confèrent une capacité et une tolérance au stockage des cendres presque doublées par rapport à la première génération et ce, à volume égal. Le système FAP troisième génération assure une durabilité d'environ 200 000 km sans entretien (soit le double de la durée de vie d'un filtre à particules prévue par la réglementation Euro 4 : 100 000 km), ce qui correspond approximativement à la durée de vie du véhicule pour 90% des clients.

L'innovation est continue. Les progrès répondent aux exigences croissantes de qualité et de prestations émanant de l'utilisateur et des normes réglementaires européennes.

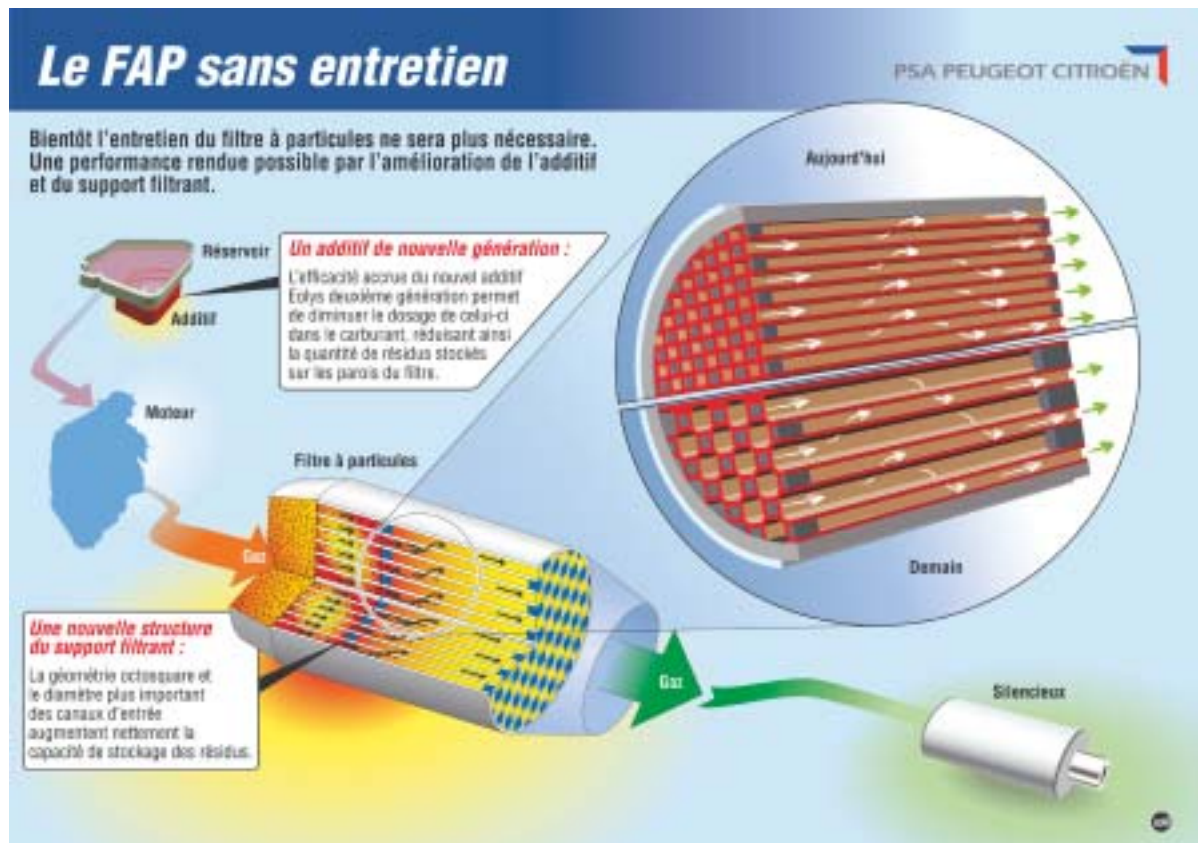


Schéma en date de 2003²

I.B. Les moyens mis en œuvre

C'est l'existence d'un faisceau d'éléments arrivés à maturité associé à l'action volontariste de la Direction Générale de PSA Peugeot Citroën qui a permis de relever le défi du système FAP en 18 mois. Pour réaliser cet objectif, le groupe a fourni à ses équipes des moyens humains, techniques et financiers très importants.

■ I.B.1. Le rôle des acteurs et du système

La volonté de la Direction Générale de PSA Peugeot Citroën

En octobre 1997, le Président de PSA Peugeot Citroën est intimement convaincu que le Diesel constitue un atout majeur dans la maîtrise de l'effet de serre anthropique et que pour être acteur du développement et leader d'opinion dans le domaine de l'environnement, il faut

en traiter le point faible : les émissions de particules. Il encourage donc la Recherche et le Développement dans ce sens.

Le groupe a par ailleurs pour objectif de lancer l'innovation au moment de la sortie de la 607, en mai 2000, année symbolique, et l'annonce publiquement le 2 février 1998 lors de la présentation officielle du moteur HDi. On estime pourtant à ce moment-là en interne que l'innovation ne serait finalisée qu'un an plus tard.

L'efficacité d'une organisation du travail spécifique

Avant l'impulsion de la Direction Générale de PSA Peugeot Citroën de 1997, il y avait eu des velléités de réalisation de système FAP mais aucune équipe en tant que telle n'avait jamais été constituée. Des essais de concept avaient été effectués avec l'aide de laboratoires extérieurs. A partir de 1997, le groupe poursuit ses travaux de recherche en interne, de façon plus empirique et plus pragmatique. La motivation des salariés de PSA Peugeot Citroën compte d'ailleurs pour beaucoup dans la réussite du projet.

Une organisation du travail particulière, de type « organisation commando », est mise en place. 70 personnes sont spécialement détachées de leurs départements respectifs pendant 18 mois (novembre 1998 - mai 2000) pour mettre leurs différentes compétences (analyse des mesures, chimie, combustion, post-traitement, catalyse, exotherme d'un catalyseur, etc.) au service du système FAP. Cette transversalité est nécessaire car le projet est complexe et fait appel à de nombreux métiers appartenant à des directions diverses.

Cette organisation sur mesure permet de superposer chronologiquement presque entièrement la phase des études et celle du développement, chevauchement tout à fait inhabituel. En effet, une équipe des Etudes Avancées travaille à La Garenne-Colombes parallèlement à une équipe de Développement (dirigée par Pascal Lefebvre) qui opère à Vélizy.

La phase de développement représente la période de préparation de l'application concrète du concept à travers la nomenclature, la calibration et le lancement de la fabrication des pièces, la préparation du système industriel, les tests de validation, les essais au chaud / froid, etc. Ces deux équipes pluridisciplinaires entretiennent une communication dense et régulière.

L'innovation technique du système FAP s'accompagne donc d'une innovation dans le processus et l'organisation du travail. C'est la première fois qu'est déployé un tel dispositif. Face à un défi exceptionnel, le groupe met en place une organisation du travail inédite. Le développement du système FAP a également entraîné une augmentation en capital humain de l'entreprise, qui s'est traduite par le recrutement de nombreux ingénieurs, chimistes, etc., pour le projet.

Un autre moyen mis en œuvre pour aboutir à la réussite du projet dans les délais est la fédération et l'animation d'un important réseau d'équipementiers sous la conduite du groupe car le système FAP est un système qui impacte toute l'architecture du véhicule. Celui-ci repose en effet sur le contrôle moteur (et donc sur le calculateur), sur l'échappement et sur l'additif intégré dans le réservoir. Il existe des fournisseurs de rang 1 et des fournisseurs de rang 2 : les fournisseurs de rang 1 procurant par exemple l'additif aux équipementiers (fournisseurs de rang 2), qui l'intègrent dans le réservoir.

C'est la société japonaise Ibiden qui fournit le média filtrant et Rhodia, entreprise française, l'additif. Faurecia, française également et numéro 2 mondial dans le domaine de l'échappement, s'occupe de l'intégration dans la chaîne d'échappement. L'industrialisation

du contrôle moteur est confiée à l'équipementier allemand Bosch, les lois de commande sont fournies par PSA Peugeot Citroën. L'assemblage final est effectué par PSA Peugeot Citroën.

Un effort organique de Recherche et Développement considérable

Le système FAP résulte d'un effort de recherche important au sein du groupe.

Depuis 1990, PSA Peugeot Citroën a déposé 130 brevets pour le système FAP. Dans ce portefeuille, on en recense 12 fondateurs, qui constituent le cœur de la technologie (stratégie de régénération, injection, contrôle moteur), les autres correspondant à des perfectionnements supplémentaires. Ces brevets n'ont pas pour objet le système de filtration ni la régénération (phénomènes déjà connus) mais la combinaison originale des deux éléments : l'invention d'un filtre qui se régénère.

Dès 1990, l'additif présent dans le réservoir est breveté mais c'est en 1998 que la plupart de ces brevets sont déposés, depuis 2000 ils concernent essentiellement la stratégie contrôle moteur. Le dépôt se fait d'abord en France à l'Institut National de la Propriété Industrielle (INPI) puis un an après à l'Office Européen des Brevets de La Haye (et parfois aux Etats-Unis). On estime le coût d'un brevet pour toute l'Europe à environ 200 000 euros (taxes et traductions comprises). L'invention est alors théoriquement protégée pour 20 ans avant de tomber dans le domaine public.

PSA Peugeot Citroën dépose environ 500 brevets par an : c'est le quatrième plus grand déposant en France. Le groupe mène une politique d'encouragement à l'invention et au dépôt de brevets par diverses primes à l'inventeur : une première prime au dépôt, une seconde lors de l'extension du brevet à l'étranger, une troisième si l'invention est appliquée sur des produits ou dans des procédés du groupe et une dernière lors de la détection de contrefaçon. Sur 1000 idées, 500 brevets sont déposés, 250 sont étendus à l'étranger et 125 sont utilisés directement par le groupe. De l'idée au dépôt du brevet s'écoulent en général trois mois (la délivrance du brevet n'intervenant pas avant deux ou trois ans) et il faut encore trois ou quatre ans à partir de la date du dépôt pour que l'invention soit utilisée par le groupe. En ce qui concerne le système FAP, le processus a été plus rapide puisque l'impulsion a été donnée en 1997, que la plupart des brevets ont été déposés en février 1998 et que la première voiture a été commercialisée en mai 2000. Alors que la gestation d'un nouveau modèle de véhicule nécessite un travail de six à sept ans, le système FAP a été mis en place en seulement trois à quatre ans.

■ **I.B.2. Une mise au point dans un environnement de haute technologie**

C'est l'environnement de pointe dans lequel se sont déroulés les travaux de Recherche et Développement qui a permis l'aboutissement rapide du projet.

Le site de La Garenne-Colombes est un des centres d'études et de développement de la Direction des Plates-formes Techniques et des Achats (DPTA). C'est au sein de cette direction qu'a été conçu et mis au point le système FAP. Des experts de la DPTA sont intervenus et plus particulièrement du Département des Carburants et de la Chimie des Systèmes Essence et Diesel. Ce département s'occupe des systèmes de post-traitement des moteurs essence et Diesel ainsi que des activités liées à la combustion, aux émissions automobiles et à la physico-chimie des matériaux de catalyse.

Des procédés sophistiqués et normalisés

Ce département utilise différents moyens d'essai, dont les bancs à rouleaux qui permettent d'effectuer des mesures de polluants par cycle (directives européennes) et ce, de manière

robuste et répétitive, selon des procédures et des standards reconnus internationalement. Il s'agit d'un instrument d'une très grande sophistication qui mesure aussi bien les polluants classiques, c'est-à-dire réglementés par la Commission européenne, que les Polluants Non Réglementés (PNR). Il permet de reproduire les conditions précises d'utilisation du véhicule par le client en terme de vitesse (grâce à un système de ventilation), de résistance de la route (reproduite par une dynamo). Le banc à rouleaux date de 1990 mais son équipement est régulièrement modernisé. D'autres organisations, telles que les sociétés Total, Siemens ou Faurecia emploient cette même technologie des bancs à rouleaux afin de tester leurs produits, mais aucun de leurs dispositifs n'est aussi précis dans sa capacité de mesure, ce qui fait du banc à rouleaux un outil unique dans le groupe.

Le banc à rouleaux de PSA Peugeot Citroën mesure donc les polluants réglementés ainsi que les non réglementés. Les trois polluants réglementés gazeux sont les hydrocarbures imbrûlés (HC), le monoxyde de carbone (CO) et l'oxyde d'azote (NOx). Les polluants non réglementés mais également mesurés par ce banc à rouleaux sont le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄), le protoxyde d'azote (N₂O), le benzène et l'ozone. En ce qui concerne le CO₂, les constructeurs européens se sont engagés à réduire en moyenne, tous constructeurs confondus, les émissions de CO₂ à 140 g/km pour 2008 en signant un accord volontaire avec la Commission Européenne. A titre indicatif, la moyenne pondérée des émissions de CO₂ des véhicules neufs commercialisés par les industriels européens est de 163 g/km de CO₂ en 2003³. A la même date, la performance moyenne des véhicules du groupe était de 149 g/km⁴.



Banc à rouleaux PNR (vue avant)²

³ Source : *Rapport annuel sur les émissions de CO₂ des voitures neuves*, Commission européenne, 2005.

⁴ Source : *Les véhicules particuliers en France*, ADEME (Sandrine Catania, Département des Technologies des Transports), mars 2004.

Banc à rouleaux PNR (vue arrière)²

Mesurer à la limite du mesurable

Le banc à rouleaux a aussi pour fonction de mesurer les émissions de particules, autre forme de polluant réglementé. Les contraintes relatives à ces émissions se sont accrues depuis 2000 puisque les réglementations Euro 3 prévoyaient un niveau d'émission de particules de 50 mg/km pour 2000, Euro 4 de 25 mg/km pour 2005 et Euro 5 sans doute de 5 mg/km pour 2010.

Grâce à la technologie des bancs à rouleaux, les particules sont recueillies sur des pastilles filtrantes, au sein d'un système certifié. Les pastilles sont pesées avant et après les essais avec et sans système FAP. Les mesures sont faites à différents paliers : 13 km/h, 30 km/h, etc. et montrent que l'on a éradiqué les émissions particulières sur l'ensemble du spectre granulométrique. Dans le cadre d'un essai spécifique sur un véhicule donné, on passe de 0,044 g/km de particules (sans système FAP) à 0,002 g/km (avec système FAP) en utilisation urbaine (phase ECE) et de 0,030 g/km de particules à 0,001 g/km en utilisation non urbaine (phase EUDC à 120 km/h en moyenne). La masse de particules est donc 22 à 30 fois moindre avec système FAP et le nombre de ces particules 10 000 fois inférieur.

| <i>Particules en g/km</i> | <i>Sans système FAP</i> | <i>Avec système FAP</i> |
|---------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Utilisation urbaine | 0,044 | 0,002 |
| Utilisation non urbaine | 0,030 | 0,001 |

Résultats des différents essais²



Analyse au microscope électronique de l'état de surface d'un échantillon de système FAP²

■ I.B.3. Un investissement raisonnable

Ce projet n'aurait pas pu être mené à terme sans un important financement du groupe PSA Peugeot Citroën.

Contrairement à l'idée que l'on se fait quant à la décision d'investir : calcul des coûts, actualisation des gains anticipé, le montant de l'investissement de Recherche et Développement correspondant à la mise en place du système FAP n'a pas été chiffré précisément au préalable mais presque intégralement constaté a posteriori : 80 millions d'euros. Il s'agissait en effet d'un audacieux pari sur l'avenir mais qui reposait sur des convictions.

Si l'on compare ce chiffre à l'investissement nécessaire au lancement d'un nouveau modèle de véhicule : environ 750 millions d'euros, on se rend compte que le coût du système FAP a été raisonnable car modéré et raisonné puisqu'il a permis davantage de croissance.

II. Au service de l'environnement pour l'intérêt collectif

II.A. Le système FAP : un instrument de la politique de développement durable du groupe qui s'insère dans un contexte global

Le système FAP illustre la rencontre entre la conviction profonde de PSA Peugeot Citroën quant à l'importance de la protection de l'environnement et la réflexion croissante de la collectivité en matière de développement durable.

■ II.A.1. La diffusion du concept de développement durable⁵

La préoccupation suscitée par la pollution de l'environnement et l'épuisement des ressources naturelles conduit, dès les années 1960, à l'apparition d'instruments normatifs contraignants comme les Accords Multilatéraux sur l'Environnement (AME).

En 1972, le rapport Meadows & al., plus connu sous le nom de rapport du Club de Rome, intitulé *The Limits to growth* et malencontreusement traduit en français par *Halte à la croissance ?*, incite la population humaine à limiter d'elle-même sa production industrielle à un niveau compatible avec les possibilités de notre planète.

Mais le concept de développement durable apparaît pour la première fois sur la scène internationale lors de la publication du Rapport Brundtland de la Commission mondiale sur l'environnement et le développement, soumis à l'Assemblée générale des Nations Unies fin 1987. Ce rapport définit la notion de développement durable comme le « développement qui permet aux générations présentes de satisfaire leurs besoins sans remettre en cause la capacité des générations futures à satisfaire les leurs ».

Ce concept acquiert ses lettres de noblesse en 1992, à la Conférence de la Terre à Rio de Janeiro au Brésil avec la publication de l'Agenda 21. Ce texte, adopté par 178 gouvernements, fixe les lignes de progrès que l'humanité devrait adopter au XXI^e siècle pour maintenir son développement économique et social dans un environnement viable. Il est du ressort de chaque Etat et institution internationale d'en intégrer les principes dans la législation.

En 1997, les pays de l'OCDE s'engagent à stabiliser en 2000 leurs émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère à un niveau qui empêche toute perturbation anthropique du système climatique, c'est-à-dire au même niveau qu'en 1990. Il s'agit du Protocole de Kyoto, qui fixe des objectifs de réduction pour les pays industrialisés au-delà de l'an 2000 : 5,2% sur la période 2008-2012 par rapport à 1990 pour les pays industrialisés, 8% pour l'Union européenne, 0% pour la France.

Transposé à l'entreprise, le développement durable se traduit notamment par l'idée de « Triple Bottom Line » (triple résultat), qui conduit à évaluer la performance de l'entreprise selon trois critères : environnemental, social et économique (performance financière « classique », mais aussi capacité à contribuer au développement économique de la zone d'implantation de l'entreprise et à celui de ces parties prenantes, respect des principes de saine concurrence).

⁵ Source : <http://www.orse.org>.

■ II.A.2. L'industrie automobile et l'environnement

L'évolution des effets de l'industrie automobile sur l'environnement

Le développement durable consiste donc à prendre en compte les répercussions d'une activité sur l'environnement écologique, social et économique. Les effets de l'activité automobile se font principalement par les produits, c'est-à-dire que la voiture engendre des risques à différents niveaux :

- en terme de sécurité routière,
- en terme de mobilité routière (risque de congestion du trafic, bruit, difficulté d'accès aux transports pour les personnes en difficulté),
- effet climatique : effet de serre, consécutif au CO₂.

Le risque relatif à la qualité de l'air n'est plus le risque majeur. Malgré un parc automobile et un trafic (parc multiplié par le nombre de kilomètres parcourus) en croissance, les émissions polluantes diminuent et la part liée à l'automobile se réduit. Aujourd'hui on ne considère plus que la qualité de l'air soit un souci majeur pour l'automobile. A l'encontre de la perception du grand public, on peut affirmer qu'intrinsèquement, la qualité de l'air dans les grandes agglomérations s'améliore. Quel que soit le niveau de mesure, les résultats sont encourageants :

- l'émission unitaire de polluants réglementés d'une automobile a été divisée par 100 depuis 1972, par 20 depuis 20 ans et par 10 depuis 10 ans, soit beaucoup plus rapidement que la croissance du parc,
- les émissions globales des automobiles ont diminué en valeur absolue. Rappelons qu'il existe différentes sources d'émissions : les véhicules, le chauffage et les activités industrielles. La part de l'automobile dans l'ensemble de ces émissions se réduit. La norme Euro 4 de 2005 prévoit que la part de l'automobile ne dépasse pas 13% de l'ensemble des émissions d'oxyde d'azote et 7% des émissions de particules,
- la concentration de ces émissions dans l'air a également diminué en parties par milliers.

La nécessité d'une action à grande échelle

Cependant, même si la voiture pollue moins, elle n'est pas pour autant dédouanée de tout et les exigences du public s'accroissent.

Mais un calcul économique s'impose. A quel prix peut-on envisager de vendre une technologie capable d'éradiquer un polluant ? Peut-on raisonnablement imaginer un surcoût qui nuirait à la compétitivité du véhicule ? Il ne faut pas surenchérir la technologie du Diesel car le prix prohibitif en découragerait l'achat. Or c'est la seule technologie immédiatement disponible et économiquement acceptable pour réduire le CO₂.

Equiper les véhicules en série (et non en option) et à un coût raisonnable est donc la seule solution pour une meilleure protection de l'environnement.

Une véritable politique environnementale doit nécessairement s'appuyer sur des volumes significatifs et sur une application par capillarité au sein de toutes les gammes de véhicules

pour avoir un effet réel sur l'environnement. L'innovation doit donc s'insérer dans une logique économique, c'est-à-dire rester viable mais aussi cohérente en terme de rapport coût/avantage pour le client, comme le prévoit la doctrine du renouvellement du parc automobile comme outil majeur de l'amélioration de la performance environnementale et de sécurité.

En effet, plus le véhicule est cher, plus on retarde la décision de renouvellement (achat d'un véhicule neuf), ce qui entraîne le vieillissement du parc automobile et l'on se retrouve dans la situation où 20% des véhicules produisent 80% de la pollution.

Ainsi, grâce au renouvellement du parc automobile (d'une durée de vie moyenne de 13,8 ans en France), on a déjà assisté à une division par dix des émissions de polluants réglementés émis par les véhicules particuliers (VP) en dix ans et par vingt en vingt ans.

■ II.A.3. L'engagement de PSA Peugeot Citroën

Dans ce contexte, le groupe manifeste sa volonté d'assumer sa responsabilité sociétale non seulement par son adhésion à des organismes extérieurs mais également par des engagements en interne.

Les engagements externes de PSA Peugeot Citroën

PSA Peugeot Citroën est signataire du Pacte Mondial (Global Compact), adopté par l'ONU en 2000 et dont l'objectif est de contribuer à la prise en compte des valeurs et principes communs des Droits de l'Homme, des normes internationales du travail et du respect de l'environnement par les entreprises en faveur du développement durable. Le 7^{ème} article de ce pacte énonce que « les entreprises doivent soutenir une approche préventive des défis écologiques ».

PSA Peugeot Citroën est également membre de l'Observatoire sur la Responsabilité Sociétale des Entreprises (ORSE) dont le but est de sensibiliser les responsables économiques, sociaux et institutionnels à la responsabilité sociétale qu'ils portent.

Dans l'entreprise

PSA Peugeot Citroën met essentiellement en œuvre cette responsabilité à l'intérieur de l'entreprise : dans l'organisation interne de sa production et dans l'objet même de sa production. En effet, l'objectif du groupe est de réduire au seuil du mesurable (0,004 g/km) les particules émises grâce au système FAP. Cette innovation est nécessaire pour renforcer l'acceptabilité du moteur Diesel et profiter de ses atouts environnementaux :

- Le moteur Diesel permet de réduire les émissions de CO₂ et donc d'agir positivement, dans la durée et de façon globale sur l'effet de serre (effet sur le long terme).
- Le système FAP a pour objet de diminuer la pollution de proximité en supprimant les particules émises afin d'améliorer la qualité de l'air, question à laquelle l'opinion publique ainsi que les leaders d'opinion sont très sensibles (effet sur le court terme).

De nombreuses études concernant les effets toxiques des particules sur la santé ont été publiées mais il n'existe pas à ce jour de consensus sur une relation de cause à effet entre particules et cancers et encore moins sur le rôle des particules

Diesel parmi toutes les autres particules générées par l'homme. Cependant, dans le doute, PSA Peugeot Citroën a décidé de s'employer à éliminer ces particules.

Ces deux réalités différentes sont donc complémentaires et vont dans le sens d'une meilleure protection de l'environnement. Le système FAP a ainsi répondu à un impératif industriel stratégique car il est assuré le « mieux respirer » de la génération actuelle tout en préservant les générations futures. L'innovation est en congruence avec son époque.

II.B. Le système FAP : un impact positif reconnu sur l'environnement

Le système FAP réduit au seuil du mesurable (0,004 g/km) les particules émises, ce chiffre étant bien inférieur au niveau prévu par les réglementations Euro 3 en vigueur en l'an 2000 (0.025 g/ km).

Cette performance est certifiée par des organismes indépendants spécialisés. De nombreux essais attestant l'efficacité du dispositif ont été effectués en Europe : à l'ADAC (Automobile Club Allemand) en 2000, au Touring Club Suisse (TCS) en juin 2000, au laboratoire indépendant Ricardo au Royaume-Uni en 2000-2001, au MTC (Motor Test Center) en Suède en 2000-2001-2002, au laboratoire suédois Rototest en janvier 2001, au TTM (Technic Thermische Maschinen) en Suisse en 2001, à l'ACEA (Association des Constructeurs Automobiles Européens) en 2001-2002, à l'AEA Technology (Atomic Energy Authority Technology) au Royaume-Uni en 2002, etc.

En France, c'est l'ADEME qui a réalisé une étude sur le dispositif d'élimination des particules de PSA Peugeot Citroën.

■ II.B.1. La reconnaissance publique : la validation de l'ADEME, Agence Française de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie⁶

Présentation de l'ADEME

L'ADEME a un rôle d'expertise et d'évaluation des nouvelles technologies qui sortent sur le marché afin d'en vérifier la qualité, ainsi qu'un rôle de conseil et d'information du public à travers la publication de rapports relayés par la presse. L'ADEME résulte de la fusion en 1992 de trois agences publiques créées dans les années 1970 : l'Agence Française de Maîtrise de l'Energie, l'Agence de la Qualité de l'Air et l'Agence Nationale pour la Récupération des Déchets. Ses missions portent donc sur la maîtrise de l'énergie, les déchets et la pollution atmosphérique et sonore. Elle est sous la tutelle de trois ministères : le Ministère de l'écologie et du développement durable, le Ministère délégué à l'industrie et le Ministère délégué à l'enseignement supérieur et à la recherche. Elle est financée par l'Etat à hauteur de 300 millions d'euros par an et emploie 850 personnes dont 450 en régions.

L'objet du programme de recherche

De par ses missions et dans le cadre du programme PREDIT, Programme national de recherche, d'expérimentation et d'innovation dans les transports terrestres, l'ADEME a souhaité réaliser des essais sur un système de post-traitement des émissions de particules. Le PREDIT est un programme initié en 1990 et conduit par les ministères chargés de la recherche, des transports, de l'environnement et de l'industrie, l'ADEME et l'ANVAR (Agence

⁶ Synthèse élaborée à partir de l'interview d'Alain Morcheoine, Directeur de l'Air et des Transports de l'ADEME.

Française de l'Innovation), visant à stimuler la coopération entre secteurs public et privé et à favoriser l'émergence de systèmes de transport économiquement et socialement plus efficaces, plus sûrs, plus économes en énergie et plus respectueux de l'homme et de l'environnement. L'ADEME s'est donc logiquement intéressée au système FAP, dispositif censé permettre de diminuer drastiquement la pollution particulaire inhérente au Diesel. Elle a établi depuis longtemps un partenariat avec PSA Peugeot Citroën, qui a donc offert sa collaboration à cette opération dont le coût a été évalué à environ dix millions d'euros.

Ce programme devait permettre de répondre à trois questions :

- Le système FAP arrête-t-il aussi les petites particules ?
- Quelle est la teneur des hydrocarbures à l'échappement ?
- Que devient l'additif : reste-il à l'intérieur du véhicule ou se répand-t-il dans la nature ?

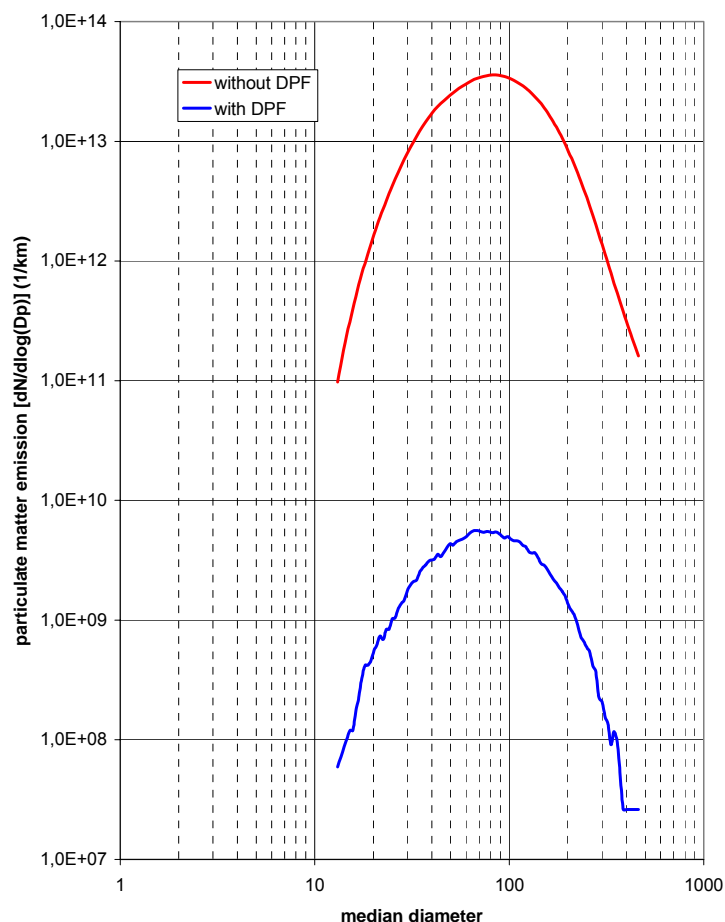
Les modalités de l'expérience

Afin de répondre à ces interrogations, l'ADEME a mené une expérience à partir de 2000 sur des véhicules particuliers, les taxis de la compagnie G7, à laquelle PSA Peugeot Citroën a vendu six Peugeot 607 équipées du système FAP. L'objectif de l'ADEME était de tester l'efficacité du système FAP dans des conditions particulièrement défavorables. En effet, l'utilisation des véhicules en zone urbaine (arrêts nombreux, vitesse peu élevée) entraîne un haut niveau d'émission de particules. D'autre part, si le filtre peut se régénérer naturellement à une vitesse élevée (sur autoroute par exemple, car à ce moment-là la température des gaz d'échappement augmente automatiquement), ce profil d'utilisation suppose la mise en œuvre d'une stratégie de régénération transparente du système pour l'utilisateur pour parvenir au même résultat. L'ADEME a donc choisi la compagnie G7, qui était volontaire pour l'expérience, car cette opération nécessitait une taille critique et un bon suivi, éléments garantis par la compagnie de taxis. A intervalles réguliers (tous les 20 000 km), une institution tierce, l'Institut Français du Pétrole (IFP), a effectué des mesures sur bancs à rouleaux sur les différents cycles.

Les résultats du programme de recherche

Les premiers résultats datent de 2003 et en 2005 une deuxième synthèse a été publiée.

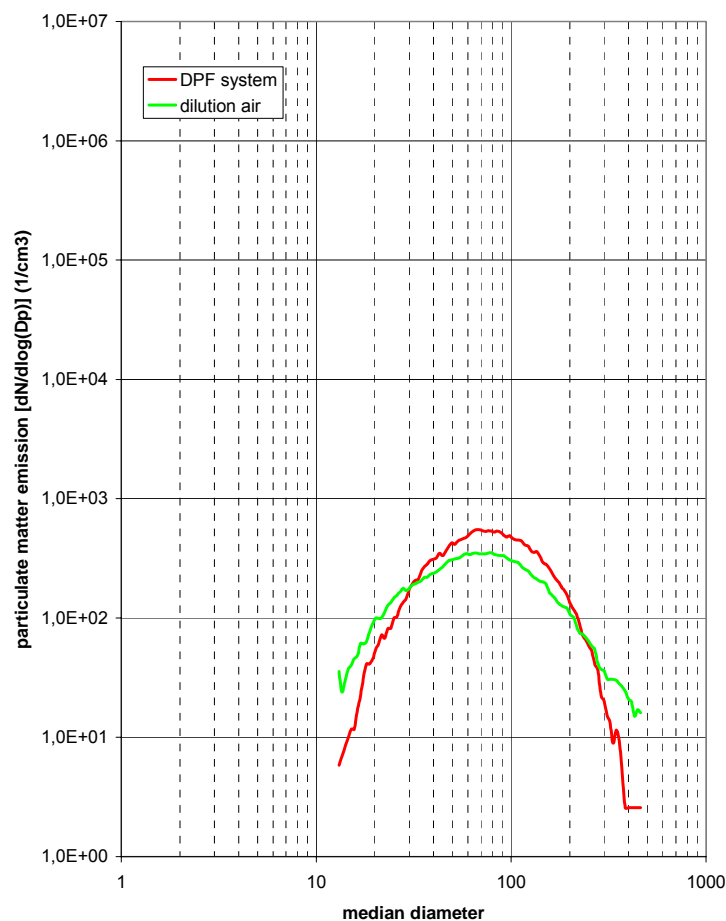
- L'ADEME a observé la suppression quasi totale des émissions de particules et ceci sur l'ensemble du spectre granulométrique des particules. La médiane entre petites et grosses particules se situe au même endroit avant et après utilisation du filtre, ce qui signifie que le filtre arrête aussi bien les grosses que les petites particules. En effet, les particules ultrafines ne supportent pas le pot d'oxydation et les moyennes s'affinent. Le coefficient de réduction du nombre des particules est de 10 000. Quant à la masse, elle est réduite de 95%. Il est donc possible de continuer à réglementer la masse des particules plutôt que leur taille ou leur nombre, ce qui nécessiterait des méthodes beaucoup plus complexes et coûteuses.
- En ce qui concerne les hydrocarbures, l'ADEME a constaté qu'ils sont traités par le catalyseur d'oxydation.
- L'ADEME a effectué un pistage du cérium qui indique qu'on n'en retrouve nulle trace à l'échappement : 95% de la masse du cérium est retenue par le filtre.



Spectre granulométrique d'un véhicule équipé du système FAP
comparé à celui d'un véhicule non équipé²

En terme de durabilité, l'ADEME note que le système FAP fonctionne de mieux en mieux en vieillissant (à partir de 120 000 km) ! On aboutit au même type de résultat sur les véhicules utilitaires lourds.

L'ADEME conclut que le système FAP est un dispositif efficace en terme de lutte contre la pollution et que le moteur Diesel équipé d'un système FAP est comparable au moteur essence. Le niveau d'exigence dépasse même Euro 5. L'ADEME encourage donc la diffusion du système FAP sur toute la gamme de véhicules. Les autres techniques de filtration doivent quant à elles être évaluées pour voir si la performance est la même. L'ADEME conseille éventuellement le post-équipement pour les poids lourds d'occasion.



Spectre granulométrique d'un véhicule
équipé du système FAP comparé à l'air ambiant²

■ II.B.2. L'efficacité mise à l'honneur par des professionnels de l'automobile

Plusieurs récompenses ont été décernées au groupe PSA Peugeot Citroën pour le système FAP :

- le Prix de l'Environnement ARBÖ, attribué par l'Automobile Club autrichien, en 2000,
- le Prix Paul Pitsche, du nom du fondateur du groupe allemand Motor Presse, propriétaire du magazine Auto Motor und Sport, en 2000,
- le Prix du modèle le plus propre par la revue suédoise Teknikens Värld suite aux essais menés au Rototest, un laboratoire suédois travaillant pour des associations de consommateurs. Après avoir participé à des essais avec 44 autres véhicules relatifs aux émissions de particules uniquement, la 607 FAP a été reconnue la voiture la plus propre de la catégorie voitures Diesel en janvier 2001,
- le Prix de l'Environnement de l'Association Automobile britannique (AA), pays encore peu diesélisé, en février 2001,

- Prix de l'Automobil Club Kraft Fahrer Schutz (troisième automobile club allemand) en juin 2001 (Prix KS-Energie und Umwelt 2001),
- le Prix de l'Environnement du magazine italien Quattroruote, premier magazine européen de l'automobile par le tirage, en mars 2002,
- le Prix Chéreau-Lavet 2002, remis à Olivier Salvat, ingénieur Arts et Métiers de PSA Peugeot Citroën et qui a joué un rôle essentiel dans l'invention du système FAP,
- le Prix d'Auto-Revue, décerné le 30 septembre 2004 à Norbert Lartigue, directeur des Projets et Métiers Techniques Organes de PSA Peugeot Citroën, par Christian Kornherr, rédacteur en chef d'Auto-Revue. Ce prix a d'autant plus de valeur pour le groupe que l'Autriche est le pays symbolique du Diesel, puisque, avec un taux de diésélisation des véhicules particuliers supérieur à 70%, elle détient la palme européenne en la matière.

II.C. Les répercussions du système FAP sur les réglementations européennes

PSA Peugeot Citroën a développé le système FAP indépendamment des réglementations européennes en vigueur à l'époque. Les réglementations contraignantes Euro 3 venaient à peine d'être mises en application et prévoyaient une quantité maximale de 50 mg/km de particules alors que le système FAP première génération de PSA Peugeot Citroën permettait de diviser par 12 la masse de particules émises et de 10 000 fois leur nombre.

Les réglementations s'alignent souvent sur les meilleures technologies disponibles (Best Available Technologies) et l'objectif d'un industriel peut être de faire adopter ses innovations pour la conception de nouveaux standards de réglementation.

L'apparition du système FAP aura ainsi inspiré un standard de réglementation puisque l'on évoque un seuil de 5 mg/km de particules pour la future réglementation européenne Euro 5 qui s'appliquera en 2010, ce qui, dans l'état de l'art actuel, aurait comme conséquence le recours à une technologie de filtre à particules. Même si la législation fixe des seuils et non des moyens techniques pour les atteindre, le système FAP aura ainsi fait partie des éléments susceptibles d'agir sur l'élaboration des futures réglementations européennes.

| <i>Polluants en g/km :</i> | <i>Euro 1 (1993)</i> | <i>Euro 2 (1996)</i> | <i>Euro 3 (2000)</i> | <i>Euro 4 (2005)</i> | <i>Euro 5 (2010)</i> |
|----------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Oxyde d'azote (NOx) | | | 0.5 | 0.25 | |
| Monoxyde de carbone (CO) | 2.72 | 1 | 0.64 | 0.5 | |
| Hydrocarbures (HC) + NOx | 0.97 | 0.90 | 0.56 | 0.30 | |
| Particules | 0.14 | 0.10 | 0.05 | 0.025 | 0.005 ? |

Réglementations européennes concernant les émissions automobiles polluantes²

III. Un levier de croissance pour l'entreprise

Le domaine de l'industrie automobile est un secteur où les progrès, considérables depuis 20 ans, se font en continu et où l'entreprise doit avoir un permanent souci d'innover pour survivre.

Le système FAP a été un levier de croissance pour l'entreprise qui a permis la survie et même la croissance du Diesel à un moment critique de son développement et constitue plus généralement un atout en terme d'image et de notoriété pour le groupe et un outil de conquête à l'export.

III.A. Une innovation nécessaire à la survie du Diesel et au renforcement de son avantage concurrentiel

■ III.A.1. Les points à améliorer du Diesel

La combustion Diesel : un rendement élevé...

Le moteur Diesel a été inventé en France en 1897 par l'Allemand Rudolf Diesel et déposé sous un brevet français.

La combustion Diesel doit son rendement exceptionnel au taux de compression élevé et à la gestion du carburant au plus juste (fonctionnement en excès d'air par rapport au moteur à essence où il y a un volume d'air juste nécessaire à la combustion de carburant).

Dans un moteur Diesel, le carburant est injecté dans le cylindre après compression de l'air par le piston. Cette compression de l'air entraîne l'augmentation de sa température, ce qui permet l'auto-allumage : la combustion du carburant se fait en effet naturellement au contact de l'air chaud, contrairement au moteur à essence qui nécessite l'intervention d'une étincelle pour initier la combustion. Cela constitue l'un des avantages du moteur Diesel par rapport au moteur à essence : puisqu'il ne nécessite pas de bougie, le moteur Diesel n'est pas sensible à l'eau (c'est pourquoi tous les moteurs marins sont des moteurs Diesel). Un autre avantage de ce moteur est qu'il accepte des carburants rustiques (le premier moteur Diesel fonctionnait à la poussière de charbon).

...Mais une production de particules inhérente au système de combustion

La contrepartie de ces avantages est un mode de combustion hétérogène résultant de l'introduction du carburant dans une masse d'air comprimée et échauffée, qui rend inévitable la genèse de précurseurs de particules carbonées qui se traduisent par l'émission de fumées noires.

Les années 1990 : les années noires du Diesel

Dans les années 1990 de nombreuses critiques dirigées contre le Diesel et la pollution qu'il entraîne laissent craindre sa disparition et l'on pressent son déclin possible dans les deux à cinq années suivantes. « Dire que l'on avait presque enterré le Diesel au milieu des années 90 ! » rappelle un article de La Tribune du 02/05/2005. Le taux de diésélisation du marché

européen est de 20% en 1990 et en 1993 et 1995, le nombre d'immatriculations de véhicules particuliers Diesel de PSA Peugeot Citroën diminue par rapport aux années immédiatement antérieures dans l'Europe des 17 (Union européenne, Norvège et Suisse). On passe de 2 304 362 en 1992 à 2 255 400 en 1993 et de 2 698 239 en 1994 à 2 652 786 en 1995⁷. Le constructeur italien Fiat cesse alors de produire des véhicules Diesel, ceux-ci étant lourdement surtaxés par l'Etat italien. Quant à Renault et aux constructeurs allemands, ils réduisent fortement leur production. En 1997, certaines usines de PSA Peugeot Citroën risquent la fermeture.

Mais PSA Peugeot Citroën persiste à croire que le Diesel a des avantages indéniables et qu'une solution à ses nuisances intrinsèques peut être trouvée. L'innovation du système FAP a donc eu au début un aspect défensif quant à la survie Diesel mais elle a permis ensuite une stratégie offensive de croissance.

■ III.A.2. Le système FAP confère un dynamisme supplémentaire au marché du Diesel

Le marché des véhicules Diesel neufs

Le taux de diésélisation du marché européen a plus que doublé en 10 ans : il atteint 48% en 2004, PSA Peugeot Citroën étant l'acteur le plus important de ce marché. En France 70% des véhicules vendus en 2004 roulent au Diesel, contre 33% en 1990. En Allemagne, ce taux s'élève à 44%.

La croissance Diesel s'est accélérée principalement à partir de 1998 grâce aux nouvelles technologies de l'injection directe et du système FAP. Le succès de ce dernier explique l'augmentation des volumes des ventes de véhicules Diesel Peugeot et Citroën sur la période 2000-2005, le marché du Diesel étant globalement en croissance (+50% entre 1998 et 2005).

LE MILLION DE VEHICULES EQUIPES DU SYSTEME FAP EST ATTEINT EN JANVIER 2005.

En juin 2005, les ventes cumulées de véhicules équipés du système FAP s'élèvent à 1,2 millions sachant que les ventes annuelles de PSA Peugeot Citroën représentent 3,4 millions d'unités et les ventes de véhicules Diesel 1,7 millions (environ 50%).

Le cas particulier du marché d'occasion

Le système FAP apporte une réelle valeur ajoutée au véhicule neuf en permettant d'envisager une meilleure revente à l'avenir. Le marché du véhicule neuf est en effet lié à la dynamique du marché d'occasion.

La structure du marché d'occasion, qui représente trois fois le marché des véhicules neufs, s'est trouvée modifiée par l'apparition du système FAP. Les véhicules d'occasion non équipés du système FAP « perdent fortement de leur valeur à la revente » selon un article du Frankfurter Allgemeine Zeitung (Allemagne) du 23 avril 2005 alors qu'« inversement, la valeur des véhicules de la marque Peugeot, pour la plupart équipés en série de filtres depuis l'automne 2003, a augmenté de 5% ».

⁷ Chiffres issus des études du groupe PSA Peugeot Citroën.

■ III.A.3. Un élément de démarcation par rapport aux concurrents

Le groupe ne souhaite pas garder l'exclusivité du système FAP en exclusivité et propose dès l'origine de mettre cette innovation majeure à disposition des autres constructeurs, moyennant royalties. Mais ces derniers préfèrent mettre au point une technologie équivalente mais qui leur est propre et cherchent à développer des filtres à particules dernière génération moins chers, plus compacts et sans additif (qui semblent moins respectueux de l'environnement que le système FAP de PSA Peugeot Citroën, notamment les filtres catalysés des constructeurs allemands). Cette volonté des concurrents est en quelque sorte une reconnaissance et une consécration pour l'initiateur de l'innovation.

Au Salon de Francfort en 2001 et 2003, on assiste à des effets d'annonce de la part de Mercedes, BMW, Volkswagen (Passat) et Renault (Vel Satis) mais qui ne s'accompagnent pas immédiatement d'avancées réelles ni d'introduction en masse sur le marché. Avec le système FAP, le groupe français prend de court les constructeurs allemands sur un thème qui est le leur : celui de l'environnement, ce qui engendre des réactions disproportionnées et une grande confusion. L'innovation désorganise la concurrence : c'est aussi son rôle.

Aujourd'hui, presque tous les constructeurs automobiles proposent des filtres à particules sur des gammes étendues de véhicules (Volkswagen, Mercedes, BMW, Audi, Volvo) mais il ne s'agit pas de la même technique de régénération du filtre (sauf sur la Passat de Volkswagen). PSA Peugeot Citroën est le seul constructeur automobile au monde à avoir diffusé une technologie efficace en toutes circonstances en très grande série.

LE PRIX

La prime au premier entrant dont profite l'innovateur lui permet de bien se positionner sur le marché. Dans ce contexte non concurrentiel, l'initiateur bénéficie théoriquement d'une « rente d'innovation ».

Paradoxalement, comme PSA Peugeot Citroën est au début le seul constructeur à diffuser le système FAP, cette technologie n'a pas paru immédiatement nécessaire aux automobilistes. Le problème à résoudre est donc le suivant : comment peut-on faire adopter par le client un élément qu'il n'est pas prêt à payer mais qui est indispensable et qui représente un coût réel pour le constructeur (« Le système FAP a un coût mais il n'a pas de prix ») ?

La réponse est claire : le véhicule doit être vendu au prix du marché, sans surcoût. Un constructeur automobile ne peut pas se permettre d'innover en-dehors du marché. Pour être utile aux consommateurs et à l'entreprise, l'innovation doit être abordable et largement diffusée sur les véhicules. L'acte d'achat d'un véhicule est en effet déterminé par trois facteurs : la marque, le budget, l'image. Une innovation sert à améliorer l'image. Or, si le surcoût engendré par cette innovation est trop important, il peut dissuader et décourager l'acte d'achat, ce qui rend alors l'innovation inutile. Il faut donc développer des innovations « achetables » et trouver des éléments de productivité pour compenser le surcoût réel de l'innovation. Le pari du système FAP est à la fois technologique et économique.

Ainsi alors que le consommateur est souvent convaincu qu'il paye l'innovation, le coût du système FAP est intégré dans le prix global du véhicule chez PSA Peugeot Citroën (contrairement à certains constructeurs chez qui le système FAP est une option pouvant atteindre jusqu'à 800 euros).

LA DISPONIBILITE DU SYSTEME FAP SUR TOUTE LA GAMME

Après le lancement du système FAP, le groupe a dû relever un autre défi : le déploiement du système FAP sur toute la gamme, le plus vite possible et de façon étendue afin que cette innovation ne soit pas réservée aux véhicules haut de gamme et pour que le groupe puisse réaliser des économies d'échelle.

Ce déploiement progressif s'est effectué sur la période 2000-2003 et en 2004 la troisième génération de système FAP équipe presque toute la gamme Peugeot et Citroën. Il a commencé par les fortes motorisations qui consomment plus et équipent des véhicules lourds (stratégie « top-down »). Le système FAP est aujourd'hui disponible sur 10 familles de véhicules sur 13 : les Peugeot 206, 307, 407, 607, 807 ainsi que les Citroën C3, C4, C5, C8 et Xsara Picasso. Depuis 2005, 90% des modèles Peugeot Diesel commercialisés disposent du système FAP. Seuls les véhicules 107, 1007, C1 et C2, présentant tout à la fois une faible masse et de faibles émissions, ne sont pas équipés du système FAP.

Le groupe a désormais pour objectif de persévérer dans l'implantation et la banalisation du système FAP aussi bien sur le terrain que dans les mentalités en insistant sur l'intégration du coût et la facilité d'utilisation.

III.B. Qui bénéficie au groupe entier

■ II.B.1 Un facteur de renforcement de la cohésion du personnel et de l'esprit d'équipe

Les équipes qui ont œuvré sur le projet se sont profondément impliquées et passionnées pour leur travail : la fierté des personnes du groupe d'apporter une réponse environnementale et citoyenne aux nuisances automobiles a soudé l'équipe.

■ III.B.2. Un atout en terme d'image et de notoriété pour le groupe

Le système FAP a amélioré l'image de PSA Peugeot Citroën en terme de constructeur automobile « citoyen ». Les clients sont satisfaits de la fiabilité, de la solidité et de la durabilité du système FAP.

Une étude clientèle sur le système FAP a été menée en 2003 en France et en Allemagne.⁸

Il en ressort d'une part que le système FAP bénéficie d'une bonne notoriété : 24% de notoriété prouvée en France, ce qui est élevé pour un élément aussi technique, contre 80% en Allemagne. La notoriété prouvée se mesure par les réponses aux deux questions suivantes :

- Connaissez-vous le Filtre à Particules ?
- Qu'est ce que le Filtre à Particules ? (La réponse est juste si les interviewés décrivent ce qu'est ou à quoi sert le FAP.)

Par ailleurs, il est perçu de façon tout à fait positive :

⁸ Il s'agit de l'Etude Clientèle « Filtre A Particules » France / Allemagne – 2003, réalisée par l'institut IMAJ.

- D'un point de vue environnemental, particulièrement dans le domaine sensible de la santé publique, préoccupation très présente en Allemagne où l'on parle beaucoup des liens entre particules et cancer du poumon. Il est considéré comme une innovation utile.
- D'un point de vue technologique : il est porteur d'une image de progrès. Les nombreux brevets déposés à cette occasion par PSA Peugeot Citroën constituent d'ailleurs des armes de négociation (vente de licences), particulièrement intéressants pour la stratégie de coopération du groupe.

En contrepartie on ne recense pas d'inconvénients concernant la conduite et les prestations offertes par le véhicule.

Le système FAP apporte donc un réel bénéfice d'image aux marques Peugeot et Citroën ainsi qu'un avantage concurrentiel, en Allemagne surtout. En France 73% des clients associent spontanément et en priorité le système FAP à la marque Peugeot contre 60% en Allemagne, même si la marque Citroën est moins citée : 40% en France contre 18% en Allemagne.

A l'usage, 80% des possesseurs français et 94% des possesseurs allemands de véhicules équipés du système FAP se déclarent satisfaits. Le système FAP fait l'objet d'intentions d'achat ou de ré-achat très positives.

En ce qui concerne les retours clients dus au système FAP, on constate que le nombre d'incidents liés à cette innovation est proche de zéro.

III.C. Un outil de conquête à l'export : le cas exemplaire de l'Allemagne

Ces effets de notoriété et de croissance du marché du Diesel se cumulent, particulièrement dans des pays où l'opinion publique est très sensible à l'intégration de l'automobile à l'environnement.

Ainsi, l'Australie et la Nouvelle-Zélande, qui constituent des marchés cibles actuellement peu dieselisés, seront plus facilement accessibles avec des véhicules équipés du système FAP.

Mais la meilleure illustration de l'apport que représente le système FAP à l'export est le cas de l'Allemagne. Les constructeurs allemands, en retard sur ce terrain, ont été déstabilisés au moment où un Allemand sur deux, à l'achat d'un véhicule Diesel, marque son intention d'acheter un véhicule équipé d'un système FAP. L'Allemagne constitue donc une cellule d'expérimentation grandeur nature pour la stratégie d'exportation du système FAP.

III.C.1. Les spécificités du marché allemand

Le constructeur automobile qui n'arrive pas à avoir du succès sur le marché allemand n'est pas une marque d'avenir.

Le marché allemand est en effet un marché référent. Les Allemands aiment les voitures et particulièrement les moteurs. En Allemagne, le marketing automobile porte d'ailleurs sur cet élément-là en priorité avant de s'intéresser à la carrosserie. Une autre caractéristique du marché allemand est que le produit automobile passionne aussi bien les hommes que les femmes. Et ce sont 25% des Allemands qui travaillent directement ou indirectement dans l'industrie automobile.

Cependant on observe un comportement particulier de l'automobiliste allemand mêlant d'une part un goût marqué pour la puissance et l'envie de liberté associée à la voiture, et d'autre part un grand intérêt porté à l'écologie. En effet, d'un côté, les Allemands utilisent beaucoup moins les transports en commun que les Français et préfèrent rouler en voiture individuellement (on peut ajouter que les villes allemandes sont très vastes et que lorsque l'on habite à plus de 40 km de son lieu de travail, on peut déduire de ses impôts les coûts d'utilisation de sa voiture) et de l'autre, ils se montrent très attachés à tout ce qui touche à l'environnement.



Peugeot 307 SW devant le Reichstag à Berlin²

■ III.C.2. L'arrivée du système FAP en Allemagne : l'ouverture d'un débat qui subsiste aujourd'hui

Ce dernier élément explique le succès du système FAP en Allemagne. Il y a eu un « avant » et un « après » système FAP dans ce pays, autant grâce à l'action de Peugeot que grâce à la réaction des Allemands et de la presse allemande.

La présentation du système FAP en 1999 entraîne plusieurs réactions.

Les réactions positives

De nombreuses réactions positives témoignent de l'intérêt porté au système FAP :

- La parution de nombreuses études entreprises par des Allemands sur les effets nocifs des particules pour la santé, et reprises ensuite par toute la presse généraliste,
- Plusieurs émissions de télévision qui interrogent des constructeurs concurrents ou des concessionnaires au sujet de l'efficacité du système FAP,

- Les commentaires du journal automobile allemand AutoBild, lors du salon de l'automobile de Paris de 2003, qui portent sur l'absence d'innovation allemande dans l'objet automobile pour un prix inférieur à 50 000 euros pour le client. En effet, comme la marque plébiscitée est étrangère, la presse professionnelle se montre d'autant plus dure envers les constructeurs allemands,
- La publication le 6 septembre 2001 d'une étude dans un numéro du magazine de l'ADAC (qui compte 16 millions de membres).



Représentation symbolique de la quantité de suies émises par un véhicule Peugeot comparée à celle émise par un autre véhicule⁹

L'ADAC (Automobile Club allemand) réalise en 2001 une étude sur les émissions particulaires des véhicules Diesel, étude qui porte sur 80 000 km (kilométrage correspondant à l'endurance demandée par les systèmes de dépollution dans le cadre de la réglementation Euro 3 en vigueur à cette époque). PSA Peugeot Citroën participe à ces essais ainsi qu'un constructeur allemand et fournit à l'ADAC une 607 HDi équipée d'un système FAP. Le groupe ouvre d'ailleurs à cette fin ses sites de Recherche et Développement à l'ADAC (La Garenne-Colombes) afin que ce test se fasse dans la plus grande transparence possible.

A la fin de cette étude, le journal ADAC Motorwelt, qui tire également à 16 millions d'exemplaires directement déposés dans la boîte aux lettres des adhérents, publie en première de couverture la photographie des suies émises par un véhicule concurrent comparable mais non équipé d'un FAP et par le véhicule Peugeot. Cette image marque profondément les esprits car la quantité de suies émises sur la période, symboliquement représentée dans des bocaux, est

⁹ Source : article de l'ADAC Motorwelt du 6 septembre 2001.

quasiment inexistante pour le véhicule Peugeot alors que pour l'autre automobile, elle remplit de nombreux pots.

Les résultats mentionnés dans la presse (ADAC Motorwelt et Der Spiegel) font état des résultats :

- en masse, les émissions pour la 607 équipée d'un système FAP sont de 0,002 g/km et pour l'autre véhicule de 0,028 g/km (correspondant à la réglementation Euro 3),
- en nombre, la 607 FAP émet 10 000 fois moins de particules que l'autre véhicule.

Mais l'arrivée du système FAP ne suscite pas l'enthousiasme des autres constructeurs automobiles.

La polémique

Elle s'observe à travers :

- Le dénigrement du système FAP par les constructeurs allemands qui considèrent le pilotage de la combustion comme la solution pour régler le problème à la source en supprimant ce qui cause les particules (ce qui se révèle matériellement impossible) plutôt qu'en les traitant a posteriori,
- La déclaration polémique du Président de la Fédération des Constructeurs Automobiles Allemands (VDA), Bernd Gottschalk, au magazine Der Spiegel. Bernd Gottschalk affirme que des chauffeurs de taxis parisiens sont obligés de démonter le système FAP (défectueux) de leur véhicule. PSA Peugeot Citroën dément cette déclaration en prouvant que démonter le système FAP met le moteur hors d'usage. A cette occasion, les constructeurs allemands marquent un point contre leur camp en utilisant la désinformation, ce que ne manquent pas de relever les médias allemands.

▪ **III.C.3. L'influence du système FAP sur les projets d'incitation fiscale en Allemagne**

Les projets allemands d'incitation fiscale

Le développement du système FAP en Allemagne fait réfléchir le gouvernement à des projets d'incitation fiscale.

Depuis le 1^{er} janvier 2005, une directive européenne datant de septembre 2003 oblige les agglomérations de plus de 250 000 habitants à respecter de nouvelles normes en matière de pollution atmosphérique. Cette directive prévoit que la concentration de particules dans l'air ambiant ne dépasse pas 50 mg par m³ plus de 35 jours par an et laisse la voie libre à chaque habitant de zones polluées pour porter plainte lorsqu'un dépassement des normes est constaté.

Chaque agglomération doit alors mettre en œuvre la politique de son choix pour parvenir au résultat fixé. Des habitants des villes de Berlin, Munich et Stuttgart portent plainte, ce qui réveille la polémique en Allemagne.

L'idée d'une incitation fiscale pour les véhicules équipés d'un système FAP est alors lancée par les associations écologiques et de consommateurs qui militent auprès du gouvernement pour que le système FAP soit rendu obligatoire et que diverses mesures soient mises en

place (telles que deux vignettes gratuites pour les véhicules équipés du système FAP et 20% d'augmentation sur le coût des vignettes pour les autres au moment des réglementations Euro 4, c'est-à-dire en 2005). Mais cette solution aurait pour conséquence de réduire les recettes des Länder, bénéficiaires de la taxe.

Le post-équipement : un concept simplificateur

Le constructeur Volkswagen propose de fournir un post-équipement à ses véhicules à partir de septembre 2005, post-équipement qui serait plus intéressant que le simple équipement de voitures neuves selon le constructeur, et déclare que d'ici 2008, 100% de ses véhicules en seront pourvus. Un projet de loi va dans ce sens : il attribuerait une prime de 350 euros à un véhicule neuf équipé d'un filtre et 250 Euros à un véhicule immatriculé avant le 1^{er} janvier 2006 et qui aurait fait l'objet d'un post-équipement. Et à partir de 2008, les véhicules Diesel neufs non équipés seraient surtaxés de 20%. Le dossier est actuellement suspendu compte tenu des échéances électorales que l'Allemagne s'apprête à vivre.

Cependant, le post-équipement sera moins performant qu'un véritable système FAP. Théoriquement, ces filtres ne peuvent pas se régénérer puisque leur fonctionnement n'est pas lié au contrôle moteur, qui seul est susceptible de piloter les lois de commande de l'injection multiple permettant d'augmenter les températures afin de régénérer. En ce sens, ces systèmes seraient donc passifs et contiendraient en germe les mêmes défauts que ceux qui avaient entraîné l'échec de la première introduction d'un filtre à particules aux Etats-Unis dans les années 1980. Ainsi le Frankfurter Allgemeine du 30 avril 2005 déclare que « les solutions proposées par Emitec / Twin-Tec ou Oberland Mangold ne trouveront leur place sous la voiture qu'au prix de bricolages artistiques qu'aucun constructeur ne saurait valider sans remettre en cause l'autorisation administrative de mise en circulation ». Or la fiabilité est la clé de voûte de la fidélisation des clients.

Mais le post-équipement plaît à l'opinion publique car il concerne l'ensemble de la population et non plus les seuls acquéreurs de véhicules neufs. De plus, il permet d'avoir bonne conscience tout en augmentant la valeur résiduelle de son véhicule (bien que le même article du Frankfurter Allgemeine rappelle que l'installation [de ce type de] filtre sera parfois plus chère que la valeur résiduelle de la voiture »). Le coût du post-équipement est de 565 euros dont il faut déduire la prime de 250 euros, facteur non négligeable car récupérer de l'argent de l'Etat est un élément de motivation psychologique important, en Allemagne comme ailleurs.

■ **III.C.4. L'impact commercial du système FAP pour Peugeot en Allemagne**

Une diffusion qui s'appuie sur une publicité spécifique

En 2002, un premier film publicitaire sur le système FAP sort uniquement en Allemagne à destination du public allemand. L'axe de communication choisi est la dichotomie « fumeur / non fumeur ». Les véhicules mis en scène sont les 607, 406 et 307. Ces spots sont bien mémorisés par les consommateurs et les constructeurs allemands. Un deuxième film publicitaire sort pendant l'été 2004, toujours sur le thème « fumeur / non fumeur ». C'est d'ailleurs en Allemagne que l'on compte le plus grand nombre de campagnes publicitaires sur le système FAP.

Peugeot élargit peu à peu son offre en Allemagne et bientôt 100% de la gamme des véhicules comporte des versions Diesel équipées du système FAP.

Une notoriété accrue

Pour le public allemand, le système FAP constitue un réel élément de différenciation comme l'indique le sondage annuel du magazine automobile allemand Auto Motor und Sport (AMS) qui interroge 300 000 personnes en 2003. Les personnes interviewées doivent se prononcer sur des thèmes spécifiques et citer les marques auxquelles elles associent ces thèmes. Alors qu'il y a trois ans, la marque Peugeot était peu représentée dans les sondages de l'AMS, Peugeot réussit à se positionner lors du sondage en tant que marque au design fort, marque innovante, environnementale (depuis trois ans, elle est citée en numéro 1 des marques écologiques) et au prix abordable. On peut acquérir une voiture neuve équipée du système FAP pour moins de 15 000 euros.



Citroën C8 dans le village de Uffing en Bavière²

Un marché en croissance

Les ventes de Peugeot en Allemagne ont ainsi augmenté ces dernières années. La part de marché de Peugeot est passée de 2,97% du marché allemand en 2000 à 3,58% au premier semestre de 2005 dont 3,06% correspondent à des véhicules Diesel.

Dans un contexte fortement marqué par la présence de constructeurs nationaux, PSA Peugeot Citroën contrôle une part non négligeable de 5,9% du marché allemand au premier semestre 2005 (contre 5,6% en 2004). En effet, 70% des Allemands achètent des voitures de marque allemande alors que seulement 60% des Français achètent des véhicules français.

La part de marché du groupe pourrait atteindre à terme 10%, objectif déjà atteint en 2002 dans la plupart des pays européens.

L'ensemble de ces éléments conduit à une rentabilité accrue qui consolide le groupe et permet de concilier les intérêts de l'entreprise avec une conscience citoyenne.

Conclusion

Grâce à une innovation technologique majeure, PSA Peugeot Citroën a su transformer une difficulté en opportunité.

En privilégiant l'axe environnemental, le groupe a identifié un des grands courants de société actuels : la nécessité qu'a l'entreprise de remplir des obligations citoyennes et de participer à l'effort environnemental global. C'est là une des raisons du succès de cette innovation.

L'avènement du système FAP s'accompagne d'un modèle de croissance fondé sur une offre de produits élaborés et la compréhension du marché du Diesel. L'innovation du système FAP est donc un pari gagnant pour la communauté mais aussi pour l'entreprise : le marché du Diesel n'a en effet jamais cessé de croître au cours ces dernières années.

L'histoire du système FAP de PSA Peugeot Citroën illustre donc la conciliation possible entre croissance et environnement par l'intermédiaire de l'innovation.

- | | |
|------------------|-----------------|
| | ► UNE VISION |
| LE SYSTEME FAP : | ► UNE TECHNIQUE |
| | ► UN RESULTAT |

Annexes

Glossaire :

ACEA : Association des Constructeurs Automobiles Européens
ADAC : Automobile Club allemand
ADEME : Agence Française de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie
CO : monoxyde de carbone
CO₂ : dioxyde de carbone
FAP : Filtre A Particules
HC : hydrocarbures
HDI : High Pressure Direct Injection / injection directe, haute pression
NOx : oxydes d'azote
ORSE : Observatoire sur la Responsabilité Sociétale des Entreprises
PNR : Polluants Non Réglementés
VDA : Fédération des Constructeurs Automobiles Allemands

Site Internet :

www.developpement-durable.psa.fr
www.psa-peugeot-citroen.com
www.orse.org
www.unglobalcompact.org

Personnes rencontrées :

- Gérard Belot : Direction Stratégie et Produit Groupe
- Pierre Gendraud : Direction Innovation et Qualité, Direction de la Recherche et de l'Innovation Automobiles, Prospective, Processus, Innovation et qualité, Veille et Propriété industrielle
- Philippe Leprêtre : Direction Plates-formes Techniques et Achats, Direction des Projets et des Métiers, Conception Système Motorisation et Transmission
- Patrice Marez : Direction Plates-formes Techniques et Achats, Direction des Projets et des Métiers, Conception Système Motorisation et Transmission, Système Motorisation et Transmission
- Thérèse Martinet : Direction Stratégie et Produit Groupe, Direction de l'Environnement automobile et du Développement Durable
- Jean-Marc Nicolle : Direction Stratégie et Produit Groupe
- Jean-Claude Momique : Direction Plates-formes Techniques et Achats, Direction des Projets et des Métiers, Conception Système Motorisation et Transmission, Carburant et Chimie des Systèmes Essence et Diesel, Connaissance et Mesures des Emissions Automobiles

- Christine Rigau : Direction Plates-formes Techniques et Achats, Direction des Projets et des Métiers, Conception Système Motorisation et Transmission, Carburant et Chimie des Systèmes Essence et Diesel, Chimie des Systèmes Post-Traitement : Projets
- Olivier Veyrier : Directeur de Peugeot Allemagne
- Alain Morcheoine : Directeur de l’Air et des Transports à l’ADEME