



POTS CATALYTIQUES ET DEPOLLUTION AUTOMOBILE

L'amélioration constante de la qualité des carburants (diminution de la teneur en soufre et en métaux lourds) et de la qualité des moteurs (amélioration de la combustion) ne suffit pas à compenser l'augmentation importante des niveaux de pollution de l'air par émission de gaz toxiques consécutive à l'énorme accroissement du parc automobile mondial.

En théorie, la combustion totale de l'essence conduit à la production de vapeur d'eau H₂O et de gaz carbonique CO₂, tous deux non toxiques (bien que le dernier contribue à l'effet de serre). Par exemple, la réaction de combustion de l'octane s'écrit :



En réalité, et ce malgré les progrès réalisés sur les moteurs, la combustion est incomplète et conduit à des émissions de :

- monoxyde de carbone CO qui est un gaz inodore, incolore et très toxique,
- hydrocarbures imbrûlés, notés HC, dont certains (benzène en particulier) peuvent être très toxiques,
- gaz de la famille des oxydes d'azote, notés NO_x (N₂O, NO, NO₂), toxiques et qui concourent à la formation des pluies acides et de l'ozone O₃.

Pour les véhicules diesel, on peut en plus ajouter les particules de suie, notées PM. Lorsque leur concentration augmente dans l'air, elles entraînent et accroissent des troubles respiratoires et cardio-vasculaires et peuvent provoquer des irritations oculaires et des maux de tête.

Les émissions polluantes des véhicules représentent ainsi un danger réel pour la santé. Par ailleurs la pollution automobile a un impact sur l'environnement (effet de serre, détérioration du patrimoine). Dès les années 60, des lois de plus en plus sévères ont été émises pour réguler les émissions sur les trois plus grands marchés automobiles mondiaux : USA, Japon, Europe. En 2005 - 2006, les normes d'émission européennes étaient les suivantes (en grammes/km) :

	Véhicules diesel	Véhicules essence	Poids lourds (pour 2008)
CO	0,5	1	4
HC+NO _x	0,30	0,1	
NO _x	0,25		2,0
PM	0,025	0,08	0,02
HC			0,25
CH ₄			1,1

Pour entrer dans les limites imposées par ces normes, on a ajouté, dès les années 1980, un catalyseur sur le trajet des gaz émis par le moteur, c'est-à-dire dans le pot d'échappement. Avec la généralisation des pots catalytiques dans les années 1990, un réel progrès a été réalisé dans la réduction des émissions polluantes.

Cependant, pour respecter les normes actuelles et au-delà, il a fallu réaliser un véritable saut technologique pour concevoir un système de dépollution capable de :

- convertir 98% des gaz émis par le moteur,
- avoir une durée de vie équivalente à un trajet de 160 000 km,
- traiter les émissions à froid dès le démarrage du véhicule; pour cela on a rapproché le pot catalytique du moteur afin qu'il bénéficie des températures plus élevées des gaz d'échappement et qu'il commence à fonctionner dès les premières secondes après le démarrage du véhicule.



POLLUTION ET CATALYSE

OU COMMENT FONCTIONNE UN POT CATALYTIQUE

L'objectif est de transformer simultanément, très vite et à la température la plus basse possible (entre 250 et 1 000 °C) les gaz polluants en gaz inoffensifs, c'est-à-dire :

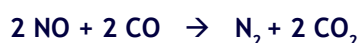
Oxyder le monoxyde de carbone en gaz carbonique



Oxyder les hydrocarbures C_xH_y comme, par exemple, (avec) l'éthane C_2H_6



Réduire les oxydes d'azote



Ces réactions sont possibles mais elles se produisent à une vitesse **extrêmement faible**, quasi nulle, dans le pot d'échappement. C'est pour cela qu'il a fallu les **accélérer** en faisant passer le mélange gazeux sur un **catalyseur**.

I - QU'EST CE QU'UN CATALYSEUR ?

Un catalyseur permet, à une température donnée, d'accélérer la vitesse d'une réaction chimique et est régénéré à la fin de la réaction sans être consommé :



Deux images peuvent servir à illustrer simplement le principe de fonctionnement du catalyseur :

- **Image du tunnel dans la montagne** : si l'on est dans la montagne au village A dans une vallée haute et que l'on veut aller au village B d'une vallée plus basse, c'est facile, sauf s'il y a un col à une altitude très élevée entre les deux qui peut prendre beaucoup de temps pour être gravi; en revanche, s'il y a un tunnel entre les deux vallées, cela ne change rien pour le départ et l'arrivée, mais permet d'aller très vite du village A au village B : le catalyseur joue le rôle du tunnel.

- **Image du banc dans le jardin public permettant d'illustrer et de retenir les différentes étapes de fonctionnement d'un catalyseur hétérogène** : A et B ne se connaissent pas (les réactifs), mais s'ils viennent tous les deux s'asseoir côte à côte sur le même banc (le site actif catalyseur), qu'ils franchissent la barrière de potentiel de leur timidité et entament une conversation qui devient amicale (la réaction chimique), ils peuvent repartir bons amis la main dans la main (les produits de la réaction). Si ce banc public est bien adapté, il peut servir très longtemps à catalyser la réalisation de couples d'amis : c'est la même chose pour un site actif de catalyseur. Si on veut qu'il se forme beaucoup de couples d'amis (de réactifs), il faut un grand nombre de bancs publics dans le jardin (beaucoup de sites actifs) (voir fig.1).



Fig. 1 - Image permettant d'illustrer les différentes étapes de fonctionnement d'un catalyseur hétérogène

C'est exactement la même histoire qui se passe dans le pot catalytique :

Le site actif est une très petite particule (quelques dizaines d'atomes de métal) de palladium (Pd) ou de platine (Pt) pour les réactions d'oxydation, et de rhodium (Rh) pour la réaction de réduction : c'est le banc public sur lequel les réactifs vont s'adsorber pour pouvoir réagir chimiquement et former les produits de réaction.

Comme il faut beaucoup de sites actifs, on va les disperser dans un très grand jardin public : on utilise la surface de très petites billes d'alumine (Al_2O_3) qui, côte à côte, représentent une très grande surface :

l'aire est de 50 m²/g.

Cet ensemble est « collé » grâce à un support spécial le « washcoat » sur le monolithe céramique en nid d'abeille (fig. 2).

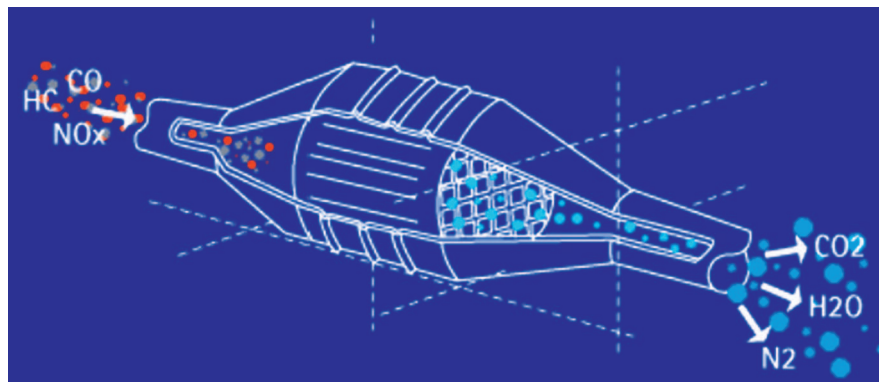


Fig. 2 - Schéma d'un pot catalytique

Avec l'aimable autorisation de Rhodia

Les gaz d'échappement passent à travers le monolithe (en céramique ou métallique) composé d'une centaine de petits canaux selon une structure en nid d'abeille. Les parois des petits canaux sont enduites de la formulation catalytique composée de trois éléments clefs :

- Les métaux précieux : Pt , Pd, Rh.
- Les billes d'alumine.
- Le washcoat, dans lequel il y a de plus des composés à base d'oxyde de cérium CeO_2 (la cérine) qui servent « d'éponge à oxygène », car ils stockent et déstockent très rapidement de l'oxygène selon les besoins de la réaction catalytique : ils favorisent et améliorent ainsi le fonctionnement du pot.

Les nouveaux pots catalytiques fixés près du moteur ont ainsi une efficacité quasi immédiate après le démarrage du moteur.

La surface catalytique active qui est très grande, équivalente à celle d'un terrain de football, permet d'assurer le plus de contacts possible entre le catalyseur et les gaz d'échappement et de convertir 98 % des gaz émis par le moteur.

Il faut que le catalyseur conserve ces propriétés pendant 160 000 km avec des pics d'exposition à des températures parfois supérieures à 1 000 °C. Les chimistes ont dû réaliser de grands sauts technologiques pour mettre au point des matériaux très stables dans lesquels les grains de métal précieux ne s'agglomèrent pas, ou ne s'encapsulent pas à l'intérieur des billes d'alumine, ce qui diminuerait beaucoup le nombre de sites actifs, donc l'efficacité du pot.

II - CAS PARTICULIER DES MOTEURS DIESEL

Le moteur Diesel est réputé pour ses qualités de fiabilité, d'économie de carburant et de faible émission de CO_2 . Il ne deviendra cependant un moteur propre qu'à condition d'éliminer les émissions de particules de suies (PM) et les NO_x .

Le pot catalytique dit « deux voies » pour moteur Diesel est un monolithe dont les canaux sont alternativement obstrués d'un côté ou de l'autre.

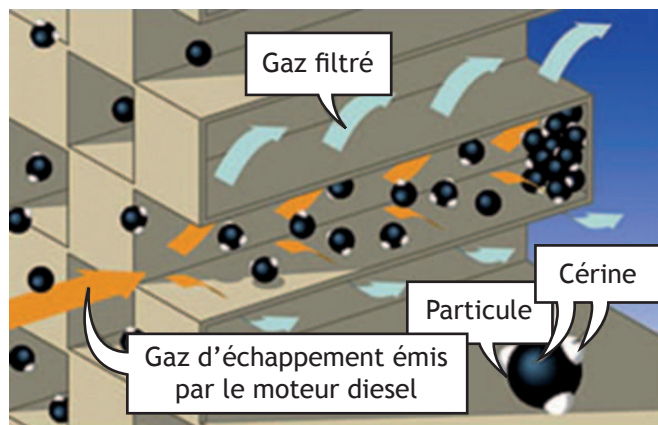


Fig. 3 - Filtre à particules

Avec l'aimable autorisation de Rhodia

Pour passer de la face d'entrée du pot à la face de sortie, les gaz d'échappement doivent traverser les parois qui séparent les canaux, ce qui a pour effet de filtrer 99% des particules de suie. Il faut régénérer régulièrement le pot catalytique par brûlage des suies. Un catalyseur soluble (à base de cérium : oxyde de cérium CeO_2) ajouté au carburant permet maintenant de diminuer la température de régénération et d'entretenir une combustion ménagée des suies.