



Chimie du pot catalytique:
principe, enjeux et polémique
*Traitement des effluents gazeux
automobiles*

Anouk Galtayries

Maître de Conférences, ENSCP

anouk-galtayries@enscp.jussieu.fr

Pollution automobile



Accroissement illimité du parc automobile mondial



augmentation inquiétante des niveaux de pollution de l'air par émission de gaz toxiques:

× 3 depuis 1960

Pollution automobile (cont.)

voitures à essence

En théorie : combustion totale de l'essence, production de CO_2 et H_2O inoffensifs

En réalité : combustion incomplète et émissions gazeuses de:

- monoxyde de carbone CO : inodore, incolore, très toxique
- HydroCarbures imbrûlés : notés HC (dont benzène)
- famille des oxydes d'azote : notés NO_x pour N_2O , NO , NO_2 , concourent à la formation des pluies acides, d'ozone (« smog »)

voir actualité: pics de pollution sous certaines conditions météorologiques

Loi sur l'air pur



Les 3 plus grands marchés automobiles mondiaux : USA, Japon, Europe

- milieu des années 1960 : premiers contrôles standards
 - années 1970 : débuts des régulations
- lois de plus en plus sévères de 1975 à 1990
- « Clean Air Act Amendment » en 1990
- lois fédérales et lois californiennes revues régulièrement
- objectif : « zéro » émission en 2003 en Californie

Loi sur l'air pur (cont.)

USA

Années	Régions	Niveaux autorisés d'émissions polluantes (g/miles)			
		CO	HC	NOx	
1970	Fédéral	23	2,2	-	
1972	Fédéral	39	3,4	-	
	Californie	39	3,2	3,2	
1975	Fédéral	16	1,5	3,1	
	Californie	9	0,9	2	
1977	Fédéral	15	1,5	2,0	
	Californie	9	0,41	1,5	
1980	Fédéral	7	0,41	2	
	Californie	8	0,39	1	
1981	Fédéral & Californie	3,4	0,41	1	
1993	Fédéral	7	0,41	1	
	Californie	3,4	0,26	0,4	
1994	Californie	3,4	0,125	0,4	
1997	Californie 25% du parc 2% du parc	3,4	0,075	0,2	Prévisions en 1996
		1,7	0,040	0,2	
2003	Californie 10% du parc	0	0	0	Prévisions en 1999



Loi sur l'air pur (cont.)



Les 3 plus grands marchés automobiles mondiaux : USA, Japon, Europe

parmi les premiers pays à légiférer en 1975, revu en 1991 en 1998 : nouvelle législation alignée sur la législation US

Niveaux autorisés d'émissions polluantes (g/km) pour voitures à essence au Japon (édictees en 1998)

Années	CO	HC	NO _x
1991	2,10	0,25	0,25
2000	0,67	0,08	0,08

Loi sur l'air pur (cont.)



Les 3 plus grands marchés automobiles mondiaux : USA, Japon, Europe

Jusqu'en 1990 : retard par rapport à USA et Japon

(directives nationales en Autriche, Suisse, Scandinavie fin des années 1980)

1993 : loi européenne « Stage I »

1996 : « Stage II »

1998 : « Stage III » jusqu'en 2000

« Stage IV » jusqu'en 2005

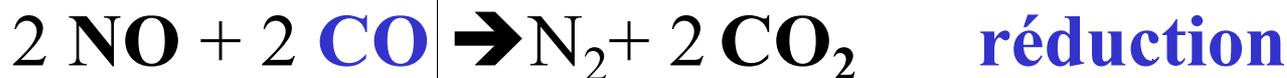
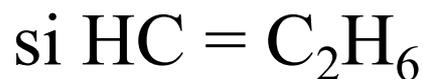
(g/km)

Années	CO	HC + NOx	
1992	2,72	0,97	
1996	2,20	0,50	
2000	2,30	0,20	0,15
2005	1,00	0,10	0,08

Pollution et catalyse

Pour entrer dans les limites imposées par ces normes: ajout d'un catalyseur sur le trajet des gaz émis, c'est à dire dans le pot d'échappement

Objectifs: transformer simultanément les gaz polluants en gaz inoffensifs



Pollution et catalyse (cont.)

Émissions organiques (HC) d'un moteur d'automobile :

Méthane	n-Butane	3-Méthylpentane	1,1-Diméthylhexane
Ethane	Butènes	2-Méthylpentane	Ethylbenzène
Ethène	Acétonitrile	Benzène	m-xylène
Ethyne	Acétone	n-Hexane	p-xylène
Propène	Isopentane	2-Méthylhexane	o-xylène
Propane	n-Pentane	3-Ethylpentane	triméthylbenzène
n-Heptane	Toluène	Acétylaldéhyde	

Pollution et catalyse (cont.)

Catalyse: lorsqu'une réaction chimique est possible, on peut l'accélérer grâce à l'ajout d'un catalyseur

ainsi catalyseur + réactifs → produits + catalyseur

en principe: jamais consommé, toujours régénéré

en pratique: essence sans plomb obligatoire!

ici: Palladium (Pd), Platine (Pt) **pour l'oxydation**

Rhodium (Rh) **pour la réduction**

interaction fugace gaz/surface des métaux: catalyse hétérogène

Pollution et catalyse (cont.)

Historiquement

- on traite *seulement* l'oxydation de CO et HC :

1 catalyseur d'oxydation seul (Pd, Pt)

- on traite *successivement* l'oxydation de CO et HC puis la réduction des NO_x :

1 catalyseur d'oxydation (Pd, Pt)

puis **1 catalyseur de réduction** (Rh)

Depuis 1993:

- on traite *simultanément* l'oxydation de CO, HC et la réduction des NO_x :

1 catalyseur 3 voies (Pd, Pt, Rh)



Pot catalytique

Historiquement:

General Motors (avec catalyseur de Rhône-Poulenc)

billes d'alumine (Al_2O_3) imprégnées

de métaux précieux → perte de puissance du moteur (20 CV)



billes ne se touchent pas



chocs, vibrations

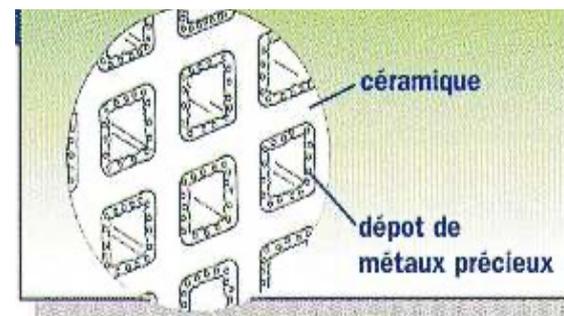
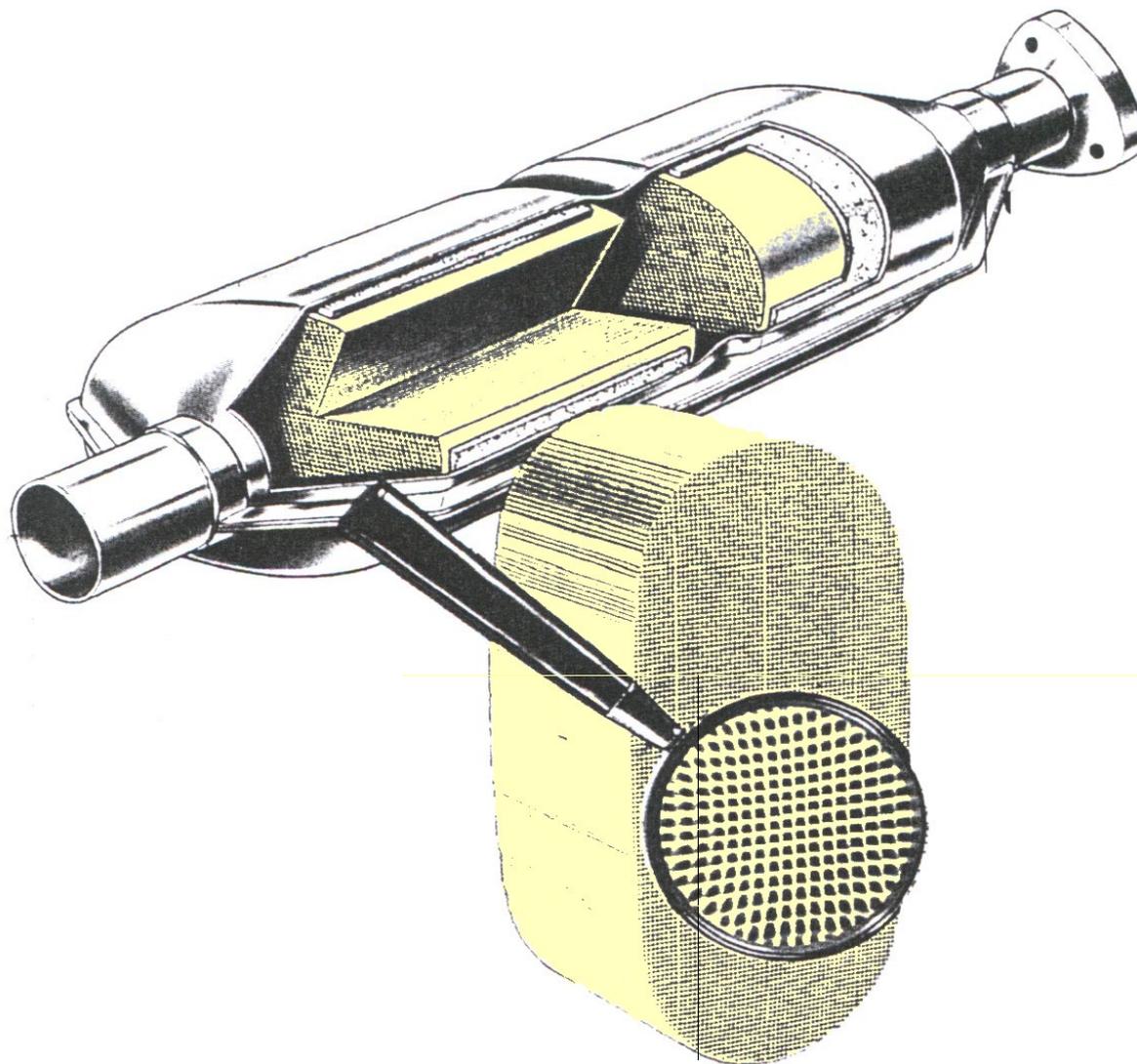


poudre → catalyseur sur la route !



*Invention du **monolithe** (Corning)*

Pot catalytique (cont.)

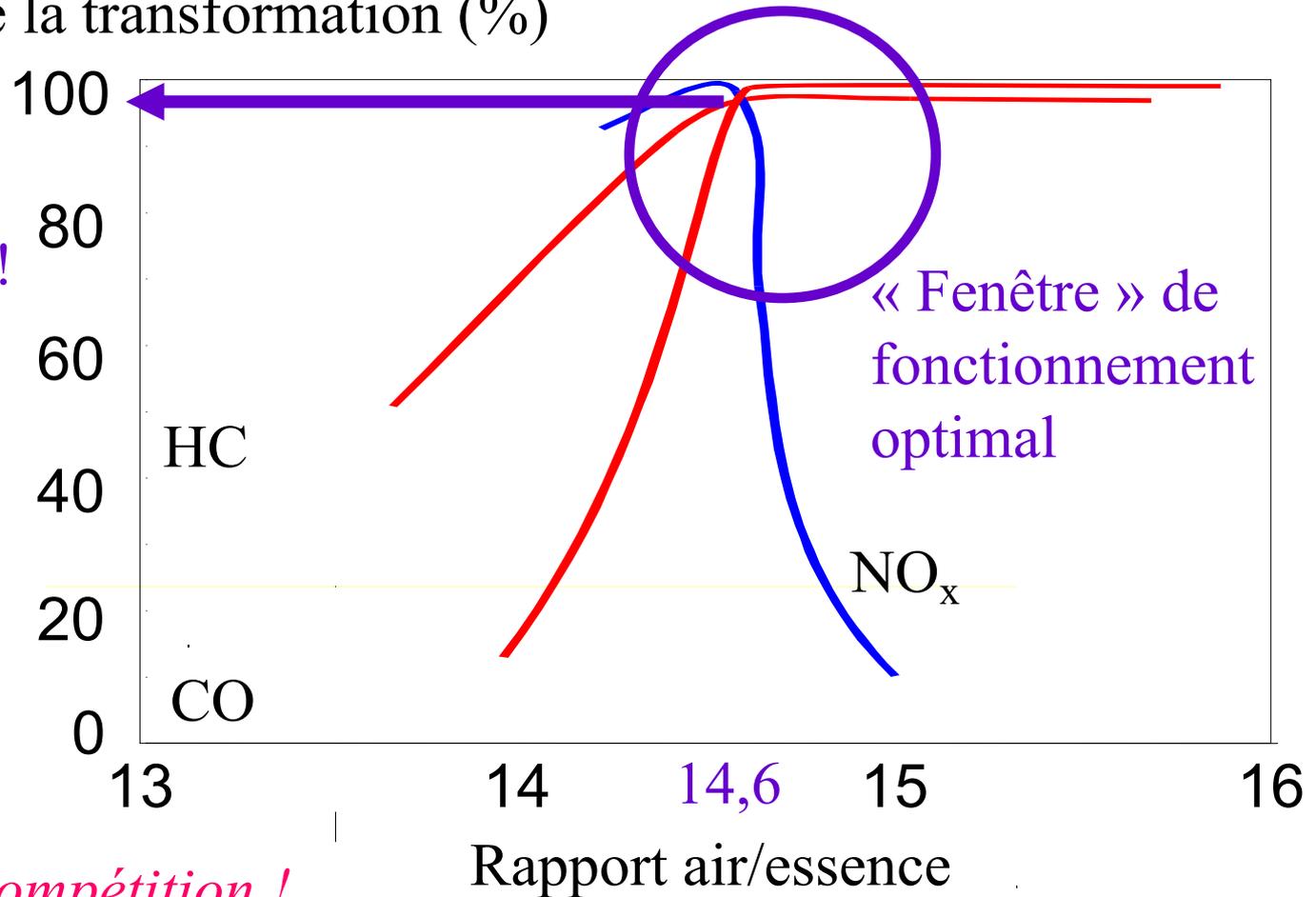


Monolithe
céramique en
« nid
d'abeilles »

Problématique du pot catalytique

Efficacité de la transformation (%)

Maximum
de conversion
autour de 95 % !



Réactions en compétition !

Problématique du pot catalytique

se maintenir dans les conditions de transformations optimales des polluants → **autour de la valeur de 14,6 = air/essence**
air = comburant = oxygène

2 méthodes:

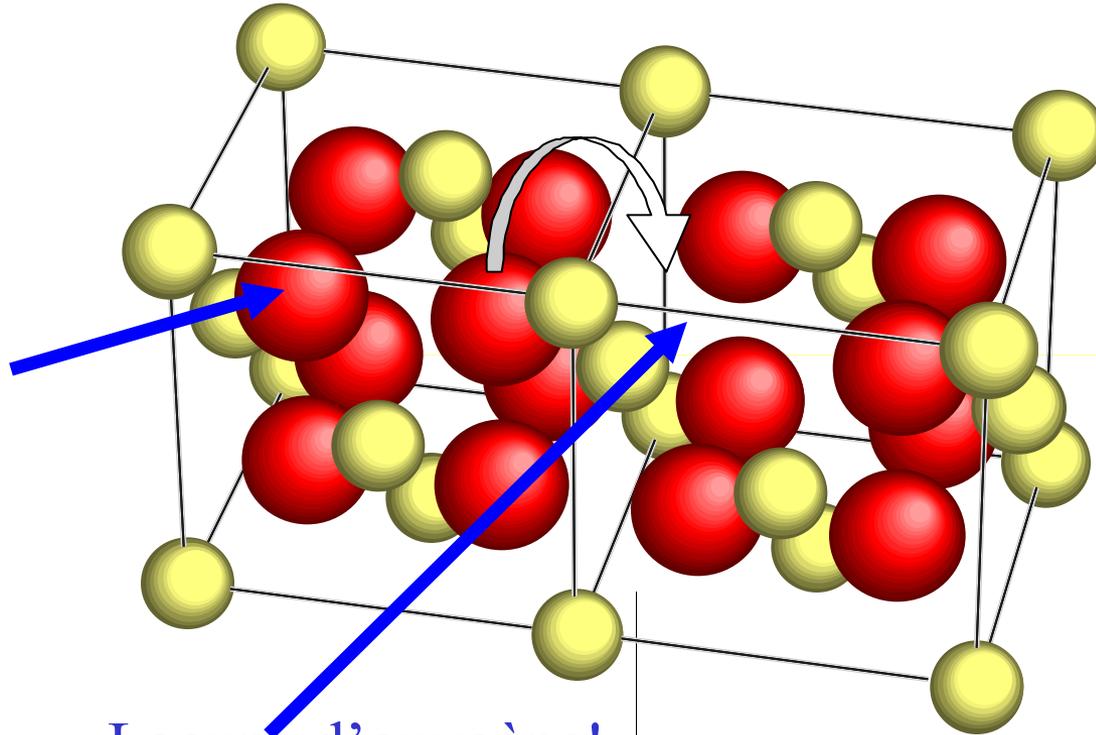
- sonde à oxygène dans le moteur
- ajout d'un matériau dans le monolithe: **l'oxyde de cérium**

propriétés: capacités à stocker ou re-larguer l'oxygène très rapidement

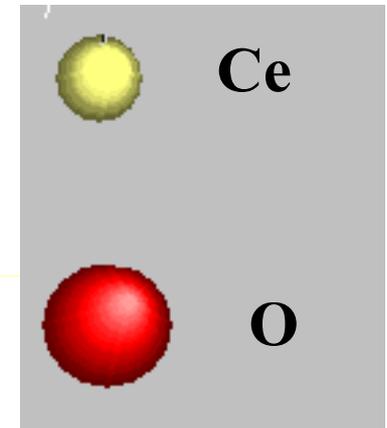
fournit de l'oxygène lors de l'oxydation
stocke de l'oxygène lors de la réduction

Contrôle de la quantité d'oxygène: CeO₂ (promoteur)

Mobilité de l'oxygène dans le matériau: stockage ou relargage



Lacune d'oxygène!



Avantages et inconvénients

- ☺ Pot catalytique: bonne transformation des polluants produits par l'automobile en produits inoffensifs

- ☹ prix:
 - prix des métaux précieux → prix du catalyseur

- ☹ vieillissement:
 - 80 000 km → inférieur à durée de vie de la voiture

- ☹ températures de fonctionnement:
 - pas efficace immédiatement → pollution maximum pour petits déplacements (école, courses, ville, ...)

Avantages et inconvénients (cont.)

A plus grande échelle:

- émission de CO₂
« effet de serre »
- pollution mondiale
paradoxe dans les mégaloilles
du Tiers-Monde
moins de véhicules mais incomparablement plus polluants



Au-delà du pot catalytique:

- régulation de la circulation automobile en ville
mesures d'urgence: réduction de la vitesse
politiques à plus long terme : alternance, pistes cyclables...
- modifier le carburant, choix de la voiture électrique...