

Pots catalytiques

Mots-clefs : Nanoparticules

Contexte du sujet :

Pourquoi mettre de l'or dans les pots d'échappement ?



<http://www3.advancedcreation.fr/blog/tutoriels/29-03-2010-tuto-voiture-en-or>

Questions

En vous appuyant sur les documents donnés pages 1 à 4, répondre aux questions suivantes :

- 1) Quels sont les problèmes liés à l'émission de monoxyde de carbone par les véhicules ? Quelles réponses apporte la chimie pour les résoudre ?
- 2) Quelle amélioration notable apporte le remplacement du métal platine par l'or ?
- 3) Évaluer la taille d'un cluster d'or. Comparer celle-ci à celle d'un atome d'or.
- 4) Quelles sont les conditions optimales d'un ajout d'or dans les pots catalytiques ?

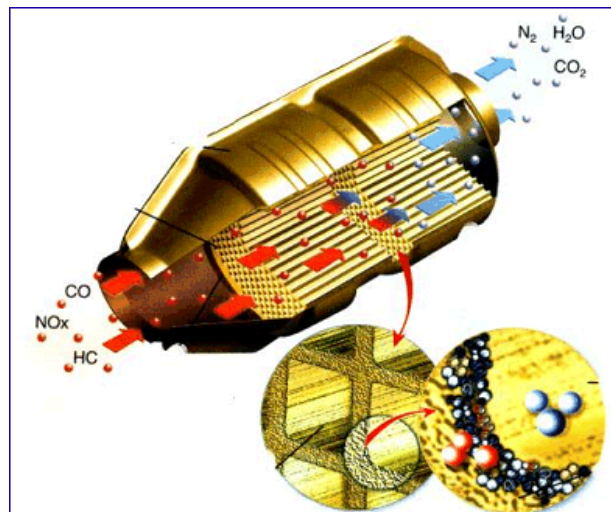
Document 1 : Production et danger du monoxyde de carbone

La présence de monoxyde de carbone dans l'atmosphère est due principalement, dans notre hémisphère, à l'utilisation de combustibles fossiles (chauffages industriels et domestiques, voitures automobiles) et, dans l'hémisphère sud, au brûlage des savanes et des forêts tropicales. Il est redouté localement dans les grandes métropoles par temps anticyclonal, mais il inquiète surtout les scientifiques parce que l'augmentation de sa concentration dans la basse atmosphère (biosphère) favorise l'accumulation d'ozone, gaz très toxique pour les humains et pour les plantes, et de méthane qui participe à l'effet de serre. Il réagit avec les radicaux hydroxyles de l'air qui le transforment notamment en dioxyde de carbone. En consommant une partie de ces radicaux, il réduit sensiblement leur rôle de « nettoyeur de l'atmosphère ».

L'analyse des gaz d'échappement montre que ceux-ci sont essentiellement constitués de vapeur d'eau et de dioxyde de carbone, mais qu'ils contiennent aussi du monoxyde de carbone CO , des oxydes d'azote notés NO_x (essentiellement NO et NO_2) et des hydrocarbures (abréviation utilisée dans l'industrie : HC) non brûlés lors de l'explosion. Ces trois « produits » CO , NO_x et HC , contribuent très fortement à la pollution atmosphérique ; aussi leur élimination à la sortie du moteur est souhaitable. Le système le plus efficace aujourd'hui est le pot d'échappement à trois voies, encore appelé pot catalytique.

Document 2 : Rôle du pot catalytique

Depuis 1993, le pot catalytique est obligatoire sur toutes les voitures neuves. Il tire son nom de la catalyse, phénomène qui accélère une réaction chimique. En effet, les moteurs sont censés brûler l'essence pour la transformer en dioxyde de carbone, azote et vapeur d'eau. Mais la combustion n'est pas optimale, et les gaz d'échappement contiennent aussi des composés toxiques tels que le monoxyde de carbone, les hydrocarbures imbrûlés ou les oxydes d'azote. Pour éliminer ces derniers, le pot catalytique provoque leur oxydation avec le dioxygène encore présent dans les gaz.



Le pot catalytique est un support en céramique (résistante à de très hautes températures), de capacité de un à deux litres. Sa structure en « nid d'abeille » est formée de petits canaux de section carrée à l'intérieur desquels se trouvent des particules microscopiques de métaux précieux (rhodium, platine et palladium). En fonctionnement normal, le pot catalyseur élimine plus de 99% des gaz toxiques mais à condition que la température dépasse les 400 °C. Le pot d'échappement n'atteint cette température qu'au bout de 10 km de trajet environ, il n'est donc pour l'instant d'aucune efficacité pour les petits trajets (soit pour en moyenne la moitié des trajets effectués par les automobilistes !).

<http://lespluiesacidestpe.e-monsite.com/pages/lutter-contre-ce-fleau/empecher-les-pluies-acides.html>

Document 3 : Rôle des nanoparticules d'or dans les pots catalytiques

L'or, qui est le métal le plus noble, a longtemps été considéré comme catalytiquement inactif. C'est en 1987 que le groupe du Dr. Haruta découvre les propriétés catalytiques tout à fait remarquables de l'or dans la réaction d'oxydation de CO ($\text{CO} + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$) à basse température, entre 25 et 70°C, réaction qu'aucun autre métal n'était capable de catalyser à de telles températures. La clé de cette découverte fut la capacité de ce groupe à préparer des nanoparticules d'or, supportées sur des oxydes réductibles (TiO_2 , Fe_2O_3), grâce à la mise au point de méthodes de préparation (co-précipitation et dépôt-précipitation) autres que les méthodes classiques d'imprégnation utilisées jusqu'alors. [...]

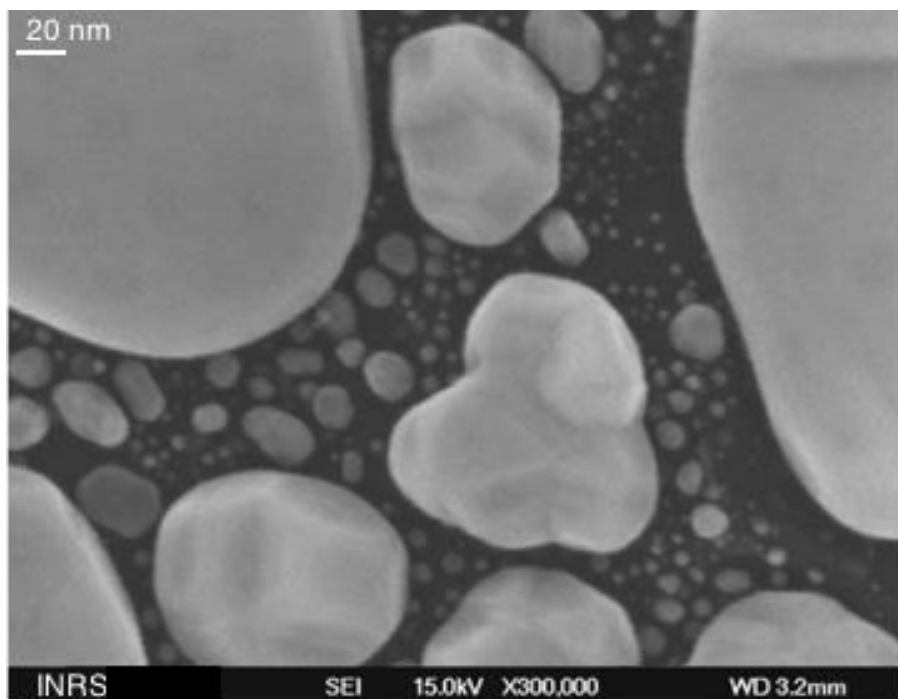
D'une manière générale, l'efficacité des nanoparticules en catalyse provient en partie de leur très grande surface utile par rapport à leur volume. Par ailleurs, les nanoparticules d'or sont économiquement plus intéressantes que le platine qui coûte très cher et qui est moins abondant.

Document 4 : L'orElément or : ^{79}Au

Masse atomique :

 $(196,966569 \pm 4 \times 10^{-6}) \text{ u}$

Rayon atomique : 135 pm



Observation de clusters d'Or par Microscopie Electronique à Balayage haute résolution

http://lmn.emt.inrs.ca/FR/FichesLMN/Fiche_28.htm

Un cluster d'or est une nanoparticule d'or.

Document 5 : L'or en catalyse : influence de la température, du support et de la quantité et de la taille des clusters

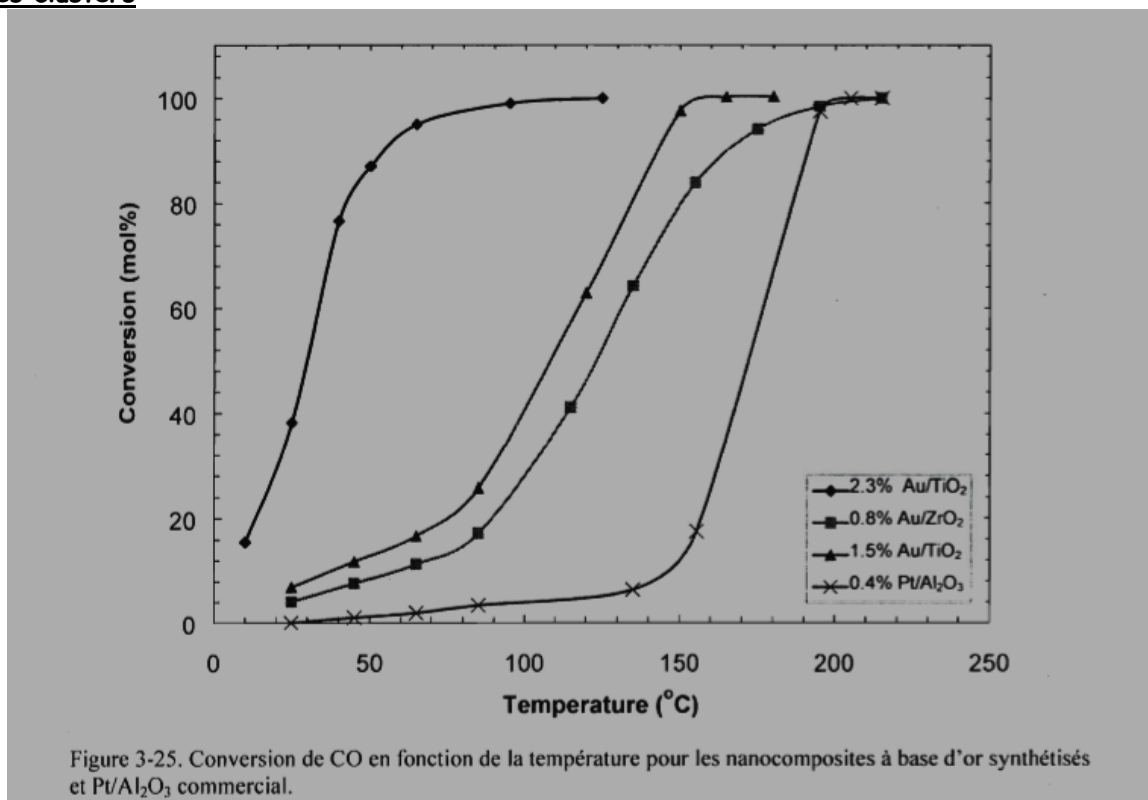


Figure 3-25. Conversion de CO en fonction de la température pour les nanocomposites à base d'or synthétisés et Pt/Al₂O₃ commercial.

www.theses.ulaval.ca/2008/25081/25081.pdf

Le taux de conversion correspond au pourcentage de réactif consommé par une transformation chimique.

L'oxydation de CO n'a pas lieu sur or massif, par contre si l'or est dispersé sur un support sous forme de nanoparticules, une activité extraordinaire a été observée. Valden et ses collaborateurs ont étudié la cinétique de l'oxydation du CO à basse température sur des clusters d'or de différentes tailles supportés sur titane en couches minces. Ils ont observé une dépendance forte du TOF et de l'énergie d'activation avec la taille des clusters d'or.

TOF = Turn Over Frequency : nombre de molécules converties par unité de temps et par site actif

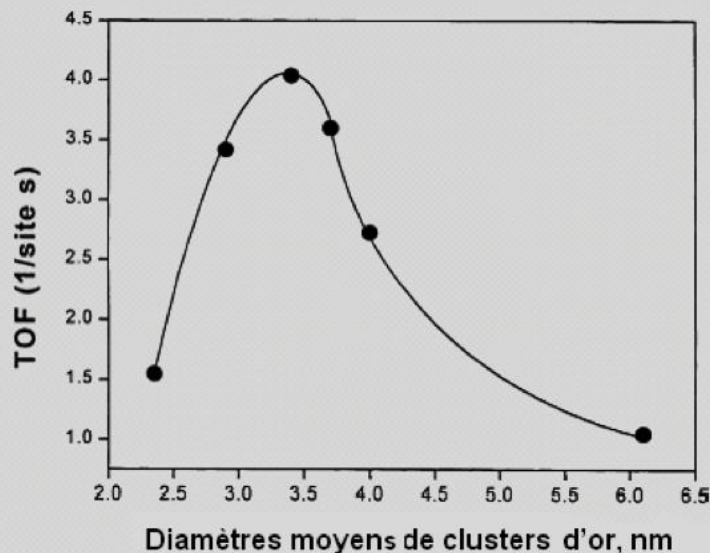


Figure 4. Variation de l'activité en oxydation du CO en fonction de la taille des clusters d'or d'après ⁹⁵

<http://scd-theses.u-strasbg.fr/922/01/IVANOVA2005.pdf>

BIBLIOGRAPHIE

Textes :

<http://centrefrancophone-bg.org/dnl/chimie10/11.pdf>

<http://www.linternaute.com/science/technologie/comment/06/pot-catalytique/pot-catalytique.shtml>

<http://91.121.18.171/sfc/FichCataSFC/fiche48.pdf>

http://lmn.emt.inrs.ca/FR/FichesLMN/Fiche_28.htm

http://www.insp.jussieu.fr/webornano/ressources/2007/Catalyse_par_or%20extrait%20SFC.pdf

<http://scd-theses.u-strasbg.fr/922/01/IVANOVA2005.pdf>

ELEMENTS DE REPONSE

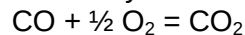
POTS CATALYTIQUES EN OR

Quelles sont les conditions optimales d'un ajout d'or dans les pots catalytiques ?**Question 1**

- Un moteur de voiture réalise des réactions de combustion d'alcane (présents dans l'essence). Il se forme alors des espèces tel que le monoxyde de carbone, le monoxyde d'azote etc...

Le monoxyde de carbone est un gaz très toxique pour l'être humain et de plus il contribue à l'effet de serre. **(Documents 1 et 2)**

- Le rôle du pot d'échappement est de réaliser la réaction chimique d'oxydation le monoxyde de carbone en dioxyde de carbone, moins toxique que le monoxyde de carbone.



Cette réaction est lente et se fait à température élevée ; l'utilisation du platine dans des pots d'échappement permet d'abaisser la température et d'augmenter la vitesse de cette réaction, le platine est qualifié de catalyseur.

Question 2

L'intérêt d'utiliser de l'or et plus particulièrement des nanoparticules d'or est de travailler à basse température et donc de pallier au principal problème des catalyseurs actuels, tout en réalisant des économies financières. **(document 3)**

Ceci permet alors de libérer dans la nature une quantité bien moins importante de monoxyde de carbone qu'avec un catalyseur en platine.

Question 3

- Grâce à l'échelle de l'image au microscope électronique à balayage, on peut mesurer la taille des clusters. Ceux-ci sont de l'ordre du nm jusqu'à quelques centaines de nm pour les plus gros, il s'agit de l'échelle nanométrique.

On est dans le domaine des nanoparticules.

- On peut comparer la taille d'un cluster à celle d'un atome d'or :

$$\frac{\text{diam}(\text{cluster})}{\text{diam}(\text{atome})} \approx 10^2$$

Question

D'après les graphes du **document 5**, plusieurs paramètres jouent un rôle sur la catalyse de la réaction d'oxydation du monoxyde de carbone en dioxyde de carbone.

La catalyse sera optimale pour les conditions suivantes :

- Le support de dépôt du catalyseur sera constitué d'oxyde de titane.
- La quantité de dépôt du catalyseur sur le support sera de l'ordre de 2,3 %.
- La taille des clusters d'or sera de 3,5 nm afin d'avoir une activité (ou TOF) maximale.