

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

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 apportent 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

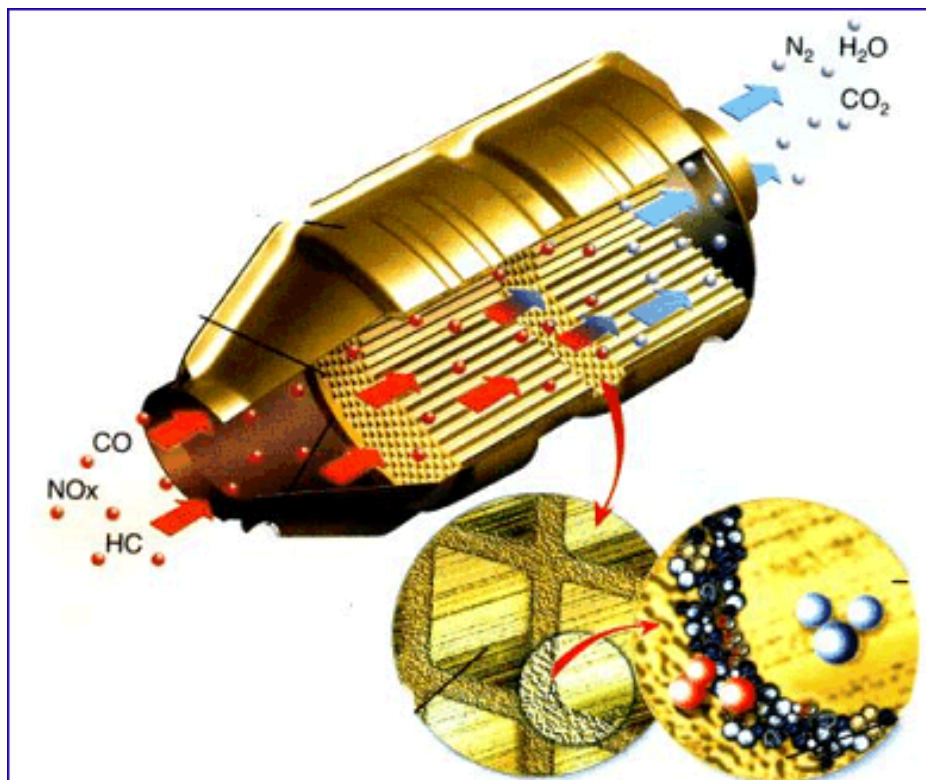
La présence de monoxyde de carbone dans l'atmosphère est due principalement, dans notre hémisphère, à l'utilisation de combustibles fossiles (chauffages industriels et domestiques, voitures automobiles) et, dans l'hémisphère sud, au brûlage des savanes et des forêts tropicales. Il est redouté localement 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 hydroxyle 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 NOx (essentiellement NO et NO₂) et des hydrocarbures (abréviation utilisée dans l'industrie : HC) non brûlés lors de l'explosion. Ces trois « produits » CO, NOx 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, diazote 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 !).

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. [...]

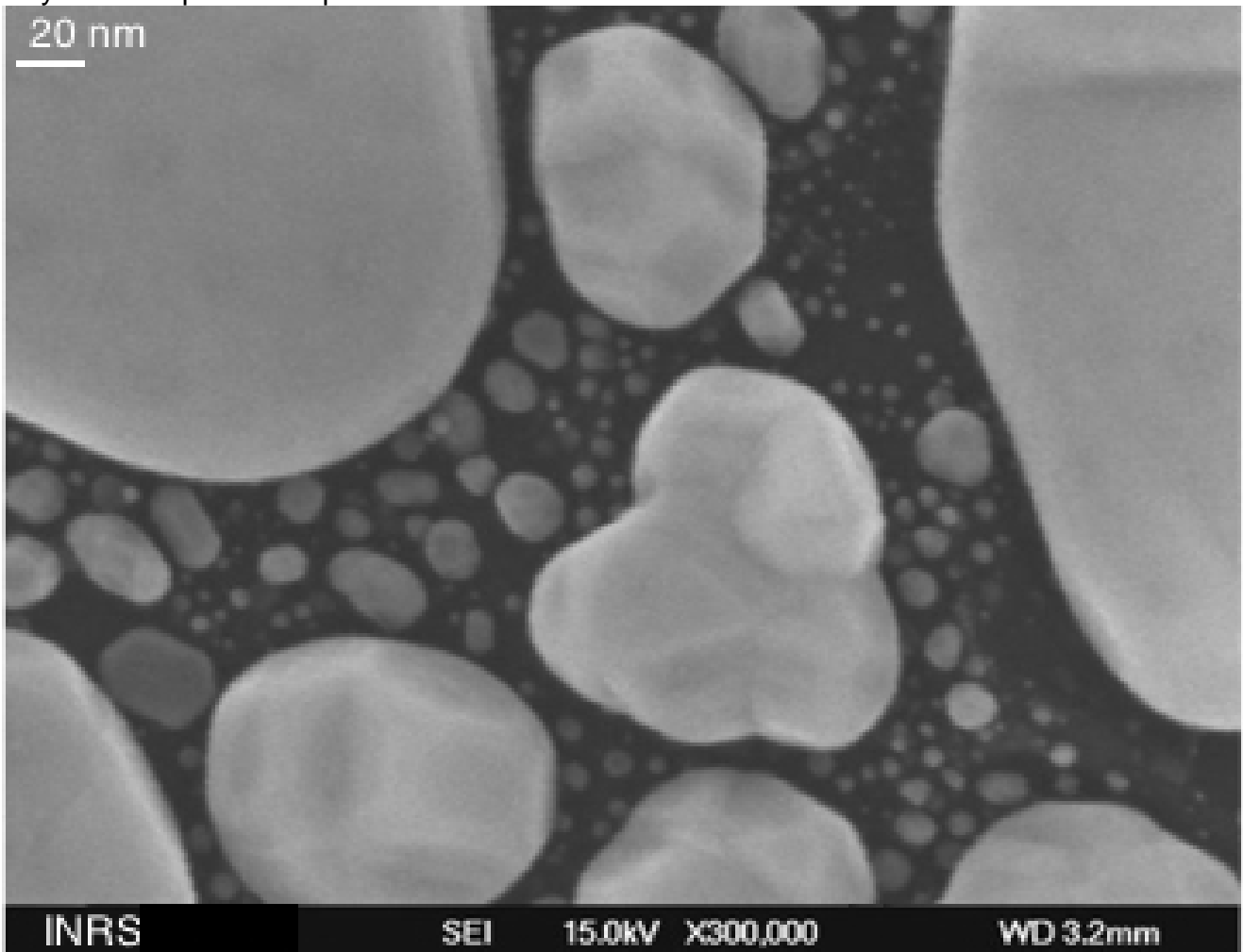
D'une manière générale, l'efficacité des nanoparticules en catalyse provient en partie de leur très grande surface utile par rapport à leur volume. Par ailleurs, les nanoparticules d'or sont économiquement plus intéressantes que le platine qui coûte très cher et qui est moins abondant.

Document 4 : L'or

Élément 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

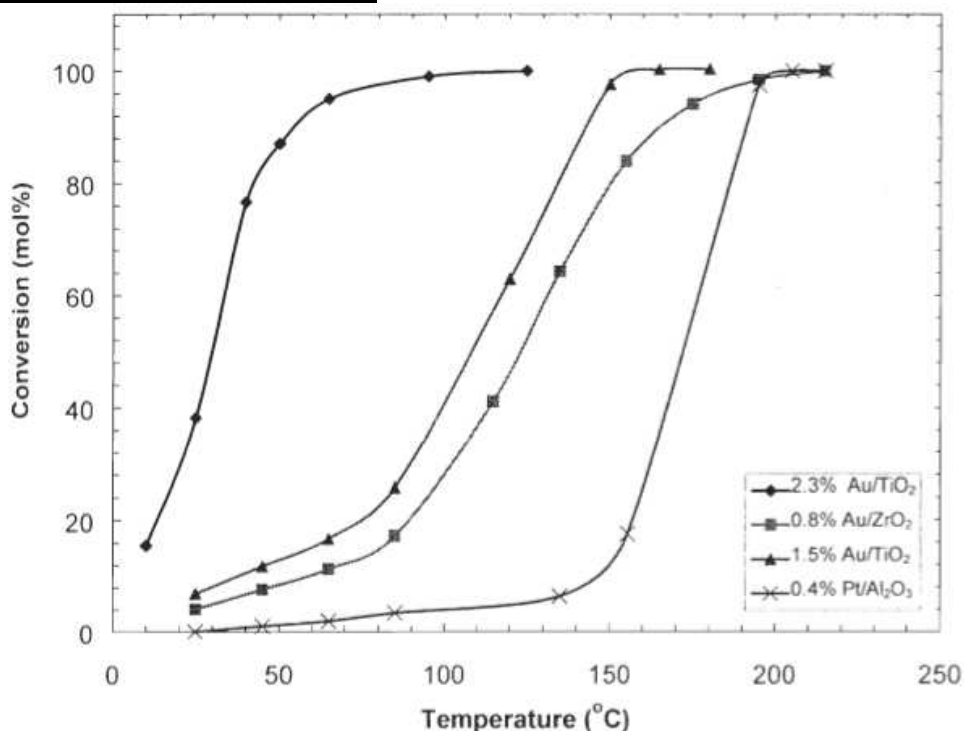
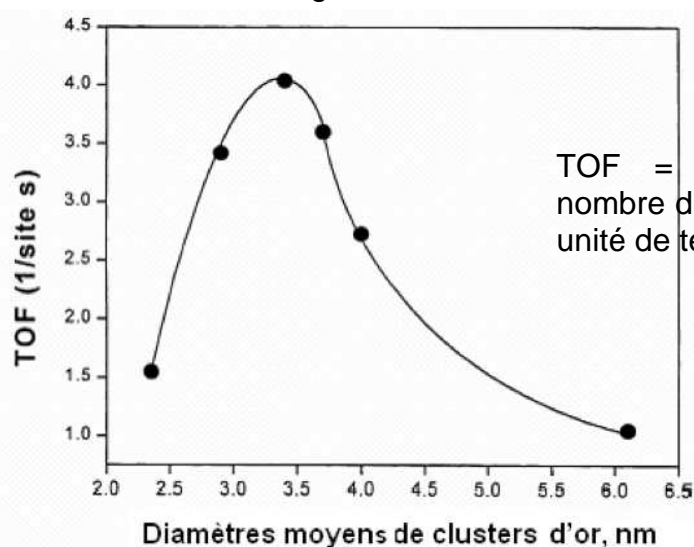


Figure 3-25. Conversion de CO en fonction de la température pour les nanocomposites à base d'or synthétisés et Pt/Al₂O₃ commercial.

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

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