

# La combustion catalytique

*Nous bénéficions dans notre vie quotidienne des avantages que nous procurent de nombreux dispositifs fonctionnant sur le principe de la combustion catalytique : des appareils de chauffage (en terrasse ou domestiques), des fours de cuisson domestiques autonettoyants, des purificateurs d'air comme la lampe Berger, etc.... Nos véhicules Diesel sont depuis plusieurs années équipés d'un pot catalytique dont la fonction est de traiter les gaz d'échappement par un procédé de combustion catalytique. L'industrie y fait aussi de plus en plus appel pour développer des technologies de production d'énergie plus respectueuses de l'environnement ou des procédés plus performants.*

## ■ Un peu d'histoire

Le principe de la combustion catalytique est connu depuis le début du 19<sup>ème</sup> siècle lorsque Sir Humphry Davy, chimiste et physicien anglais, a découvert qu'un fil de platine pouvait induire une combustion sans flamme d'un mélange inflammable. De nombreuses applications de la combustion catalytique sont apparues soit pour produire de l'énergie (thermique, radiative) soit pour dépolluer. Des brûleurs catalytiques ont été développés pour des appareils de chauffage (en terrasse, domestiques) ou des chaudières. Dans le domaine de la production d'électricité, des turbines à gaz qui utilisent le même principe ont été mises au point. Des brûleurs catalytiques à émission infrarouge se sont imposés dans des procédés industriels (séchage de peinture,...) car plus performants que les brûleurs classiques. Les procédés d'élimination des composés organiques volatils (COV) contenus dans les rejets gazeux industriels reposent largement sur le principe de la combustion catalytique.

## ■ Produire de l'énergie "propre" en toute sécurité

Dans une combustion par flamme, des radicaux sont créés en phase gazeuse grâce aux températures très élevées atteintes dans la flamme, puis ils se combinent très rapidement pour donner les produits de la combustion (essentiellement CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>O). Les températures de flamme peuvent atteindre 1500 à 2000°C. A ces températures, l'oxygène et l'azote de l'air se recombinent en oxydes d'azote NO et NO<sub>2</sub> (NOx). Les procédés utilisant une combustion conventionnelle par flamme engendrent donc

inévitablement l'émission de polluants comme les NOx.

La combustion catalytique a lieu quant à elle sur une surface catalytique : l'activation des molécules hydrocarbonées, étape préliminaire aux réactions d'oxydation, peut s'y produire plus facilement qu'en phase gazeuse grâce au catalyseur. Les températures de réaction peuvent être ainsi maintenues à des valeurs beaucoup plus basses que pour la combustion par flamme. La formation de NOx peut alors être évitée. Le processus catalytique permet aussi, par une combustion plus complète, de diminuer fortement les rejets de suie, de monoxyde de carbone (CO) et d'hydrocarbures imbrûlés (UHC). La combustion catalytique apparaît donc avant tout comme une alternative non polluante à la combustion classique : c'est une **technologie propre** pour la production de chaleur et d'électricité (turbines à gaz).



Brûleur catalytique en fonctionnement : il n'y a pas de flamme

Les procédés utilisant la combustion catalytique pour produire de l'énergie présentent aussi l'avantage d'autoriser une modulation importante de la puissance thermique dégagée (grandes variations du mélange air/combustible possibles). La combustion catalytique peut même être utilisée dans un environnement où le risque d'incendie serait important (milieu industriel contaminé par des vapeurs de solvants par exemple).

## ■ Le catalyseur doit être efficace et résister aux températures élevées

La combustion catalytique des hydrocarbures traverse plusieurs phases successives en fonction de la température. Les réactions d'oxydation sont initiées à une température qui dépend de l'hydrocarbure et du catalyseur (il faut chauffer

le catalyseur pour amorcer la réaction). Avec l'augmentation de la température, on observe ensuite un emballement du processus qui conduit très vite à une consommation totale du combustible (conversion totale), un fort dégagement de chaleur et donc une forte élévation de la température du catalyseur. La *stabilité du catalyseur* (absence de dégradation) à des températures élevées est donc l'une des propriétés principalement recherchées pour celui-ci, avec sa capacité à initier la réaction à la température la plus basse possible (*grande activité catalytique*) pour éviter de préchauffer le combustible.

En pratique, le catalyseur est déposé sur un substrat alvéolé comme un monolithe analogue à celui d'un pot catalytique automobile (voir fiche "*pot catalytique*"). Pour certaines applications (ex. brûleurs de chaudière domestique), on utilise aussi des grilles ou des mousses métalliques (FeCrAlloy) dont la surface est "fonctionnalisée" (par oxydation de l'aluminium en une fine couche d'alumine) pour permettre au catalyseur de s'y accrocher.

Les catalyseurs les plus performants en combustion catalytique sont les métaux nobles (Pt, Rh, Pd). Ils sont déposés sous forme de particules métalliques sur un support (alumine, zircone par exemple). Celui-ci doit être de grande surface pour mieux disperser le métal et être stable à haute température. Il a aussi pour rôle de limiter les dégradations thermiques (frittage du métal). Pour brûler catalytiquement du gaz naturel, (méthane), les catalyseurs de **palladium** supportés se sont révélés les plus prometteurs. En réalité c'est leur forme oxydée (PdO) qui est la plus active. Mais elle se décompose vers 700-750°C. On a pu stabiliser PdO en développant une plus grande interaction entre le métal et le support, par exemple par l'incorporation d'ajouts comme le manganèse, le nickel ou des terres rares (par exemple, la cérine). Le problème n'est pas totalement résolu aujourd'hui.

Le **platine** se révèle quant à lui plus performant pour brûler les paraffines à plus de 3 atomes de carbone mais il est aussi plus sensible aux phénomènes de grossissement des particules métalliques (frittage) qui engendrent une baisse de l'activité catalytique. L'association de plusieurs métaux (ex. Pt-Pd) dans un même catalyseur permet de combiner les propriétés de chaque métal et aussi de limiter le frittage.

Le principal inconvénient des catalyseurs de la mine du platine est leur coût très élevé. Des oxydes de métaux de transition comme ceux du chrome, cobalt, cuivre, manganèse, fer,... sont

d'autres candidats possibles car moins onéreux, mais, malheureusement, ils sont beaucoup moins actifs et leur stabilité aux hautes températures est réduite.

### Des matériaux nouveaux pour des catalyseurs performants et pas chers

Une nouvelle classe de catalyseurs moins chers que les métaux nobles et plus stables que les oxydes métalliques est apparue ces dernières années comme des candidats prometteurs pour la combustion catalytique: les oxydes métalliques mixtes (pérovskites, hexa aluminates).

Les oxydes de structure **pérovskite** ont pour formule générale  $ABO_3$ , dans laquelle A représente un cation plus gros que B. Les structures du type  $LaMO_3$  (M=Fe, Co, Mn, Ni) sont des catalyseurs actifs en combustion catalytique du méthane et d'autres hydrocarbures. La substitution en site A par des éléments comme Sr, Ce, Ag conduit à des modifications importantes des propriétés catalytiques. On l'aura compris, ce type de structure ouvre la voie à une quantité considérable de matériaux aux propriétés prometteuses, ce qui suscite parmi les chercheurs des études de plus en plus nombreuses.

### La combustion catalytique pour dépolluer

Le principe de la combustion catalytique est aussi très largement utilisé pour éliminer les traces de COV contenus dans des effluents industriels gazeux ou une atmosphère contaminée. Le catalyseur doit alors être le plus actif possible à la température la plus basse possible sans toutefois répondre aux contraintes de résistance aux températures élevées rencontrées dans les applications "hautes températures". En revanche, il doit pouvoir résister à la présence éventuelle de composés soufrés ( $H_2S$ ,  $SO_2$ ) connus pour empoisonner les catalyseurs d'oxydation, et ainsi éviter des opérations de régénération, complexes et coûteuses, nécessaires pour restaurer l'activité catalytique.

#### Contact

Patrick Gélín

Institut de recherches sur la catalyse et l'environnement de Lyon, IRCELYON, UMR5256 CNRS Université Lyon 1, 2 Av. Albert Einstein, 69626 Villeurbanne cedex.

Tel 04 72 43 11 48

[patrick.gelin@ircelyon.univ-lyon1.fr](mailto:patrick.gelin@ircelyon.univ-lyon1.fr)