

La photocatalyse et les nanomatériaux

Le principe de la photocatalyse est de transformer l'oxygène et l'eau en composés oxydants¹ sous l'action de la lumière naturelle ou artificielle, afin de décomposer des molécules organiques polluantes. Ces molécules sont oxydées à la surface d'un catalyseur, un matériau semi-conducteur qui est le plus souvent du dioxyde de titane (TiO₂), matériau stable et peu coûteux, sous sa forme anatase ou rutile. La photocatalyse due au TiO₂ a été découverte par Akira Fujishima et Kenichi Honda, en 1967 à Tokyo.

Principales applications

En principe, le matériau à la surface duquel se produit la photocatalyse renferme le catalyseur sous forme de nanoparticules afin d'obtenir une grande surface d'échanges avec l'air ou l'eau.

Les applications sont les suivantes :

1. Traitement de l'eau : potabilisation de l'eau, détoxification d'eaux de rinçage, décoloration d'effluents aqueux, élimination de résidus (médicaments...)
2. Matériaux de construction extérieurs autonettoyants : carrelages, vitrages, films plastiques, structures en acier, panneaux de ciment et de béton... Le catalyseur est intégré dans la peinture ou dans la masse du matériau, seule la partie concentrée en surface faisant alors son office. L'autonettoyage provient d'une part de la dégradation des salissures organiques par oxydation, d'autre part du lessivage des saletés résiduelles par la pluie (effet de « voile lavant »).
3. Matériaux de construction routière autonettoyants et capables de dégrader l'ozone, les oxydes d'azote (NOx) et de soufre (SOx), voire des pesticides : murs insonorisés, dalles de trottoirs (ex. : EcoGranic d'UrbaTP), chaussée bétonnée...
4. Épuration de l'air intérieur pour éliminer les composés organiques volatils (COV, notamment formaldéhyde, acétaldéhyde, benzène), dont l'impact sur la santé humaine est démontré². On utilise soit des appareils de purification de l'air à lampes UV et système photocatalytique, soit des revêtements photocatalytiques « passifs » (peintures, vernis, textiles, céramiques, bétons ou papiers peints).
5. Autres matériaux : par exemple, des chercheurs de l'IrceLyon (équipe « Caractérisation et remédiation des polluants dans l'air et l'eau ») ont proposé d'utiliser du dioxyde de titane dans des fibres textiles et de l'activer par des LED situées à l'extrémité des fibres³.

Marchés économiques

Le traitement de l'eau est le secteur historiquement le plus avancé de la photocatalyse. Pour le traitement de l'air, d'après l'Ademe⁴, près de 90 % du marché mondial de la photocatalyse était réalisé en 2013 dans le secteur de la construction (environ 1 milliard d'euros), pour l'essentiel dans la dépollution de l'air extérieur. L'épuration de l'air intérieur est un marché moins développé.

Type de lumière active

Les ultraviolets (moins de 390 nm) sont les seuls aptes, énergétiquement parlant, à activer le dioxyde de titane. On évite les UVC, dangereux. Cependant, des procédés de dopage par des éléments chimiques (par exemple l'oxyde de tungstène) permettent d'obtenir un effet catalytique avec de la lumière visible (au-delà de 400 nm).

¹ Ions superoxydes, radicaux hydroxyles, radicaux hydroperoxydes, peroxyde d'hydrogène

² Voir l'action n°49 du PNSE3, 2015-2019 et le décret n°2015/1000 du 17 août 2015

³ <https://lejournel.cnrs.fr/videos/depolluer-avec-des-tissus-lumineux>

⁴ Ademe, Fiche technique, Épuration de l'air par photocatalyse, mai 2013.

<http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/fiche-technique-sur-epuration-air-par-photocatalyse-2013.pdf>

Effacité

La performance du photocatalyseur diminue sous l'effet du vieillissement ou de l'accumulation en surface de poussières et de sous-produits de réaction. Le lessivage par les eaux de pluie contribue à entretenir l'efficacité des vitrages et enduits de façade, en éliminant ces sous-produits.

L'étude SafePHOTOCAT réalisée pour l'Ademe⁵ a évalué les performances de certains systèmes et matériaux photocatalytiques conçus pour l'air intérieur. Deux des quatre systèmes d'épuration de l'air se sont révélés peu performants et émetteurs de COV (dont du formaldéhyde). Deux autres systèmes sont apparus efficaces mais l'un d'eux émettait aussi des oxydes d'azote du fait d'un filtre à particules inapproprié. Pour les matériaux passifs, les tests d'efficacité ont été concluants pour une des deux peintures exposées aux UVA. Mais en lumière visible, ses performances étaient plus faibles et diminuaient encore avec le vieillissement du matériau.

Innocuité

Les études ont montré que des molécules secondaires potentiellement dangereuses (cétones, formaldéhyde, etc.) sont produites lors de la photocatalyse par le TiO₂. En revanche, on ignore les facteurs qui jouent sur leur libération dans l'air ou dans l'eau et sur leur quantité rejetée.

On suspecte également que des nanoparticules de dioxyde de titane présentes dans le catalyseur puissent être rejetées dans l'air, alors qu'elles peuvent être toxiques par inhalation. Cependant, l'étude SafePHOTOCAT n'a pas observé d'émission de micro et nanoparticules contenant du titane lors de ses tests, à différents stades de vieillissement des matériaux. La question reste ouverte en attendant d'autres mesures.

Dans le doute, le choix de certains industriels pourrait se porter vers des matériaux utilisant du dioxyde de titane micrométrique, même si l'efficacité de la photocatalyse diminue.

Quelques laboratoires publics impliqués

- ICPEES, Institut de chimie et procédés pour l'énergie, l'environnement et la santé au laboratoire des matériaux, Strasbourg, <http://icpees.unistra.fr/>
- IrceLyon, Institut de recherches sur la catalyse et l'environnement de Lyon, <http://www.ircelyon.univ-lyon1.fr/>
- Génie des procédés environnement et agroalimentaire (Gepea), École des Mines de Nantes, <http://www.gepea.fr/>
- Département Ingénierie des procédés, INRS
- Institut des sciences analytiques et de physico-chimie pour l'environnement et les matériaux (IPREM), CNRS, Université Pau & Pays de l'Adour, <http://iprem.univ-pau.fr>
- Laboratoire de chimie physique, Université Paris-Sud, <http://www.lcp.u-psud.fr/>

Quelques entreprises impliquées

Airlyse, Aelorve, Neoformula, TERA Environnement, Newcoat, Biowind Group (Delta Neu).

Pour en savoir plus

- L'épuration de l'air intérieur par les procédés photocatalytiques : efficacité et innocuité, Journée technique du 2 avril 2012, CSTB, Observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI). http://www.oqai.fr/userdata/documents/412_Photocatalyse_Actes2avril2012.pdf
- Bulletin de l'OQAI, n°4, juin 2012. http://www.oqai.fr/userdata/documents/403_Bulletin_OQAI_n4_Photocatalyse.pdf
- Fédération européenne de photocatalyse, www.photocatalysis-federation.eu

⁵ N. Costarramone *et al.*, Traitement de l'air intérieur par photocatalyse. Performance et innocuité de systèmes et matériaux photocatalytiques commerciaux, ADEME, Université Pau & Pays de l'Adour, août 2015, 164 p. <http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/traitement-air-interieur-performance-et-innocuite-systemes-et-materiaux-photocatalytiques-201508.pdf>