

Épuration de l'air par photocatalyse

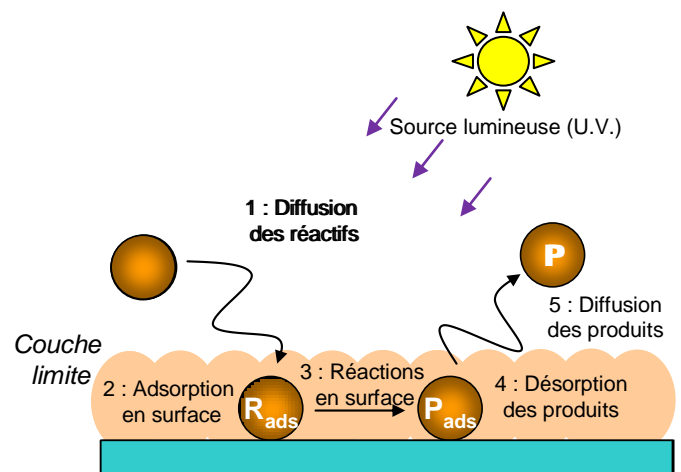
Enjeux

Respirer un air de bonne qualité est une préoccupation majeure des Français. Si la pollution de l'air extérieur a diminué sous l'effet des réglementations, des efforts pour réduire cette pollution sont encore nécessaires. Il en est de même pour les espaces en intérieur, où nous passons environ 80% de notre temps. De nombreuses techniques d'épuration (filtration, charbon actif, plasma froid, ozonation, ionisation et photocatalyse) se partagent aujourd'hui un marché concurrentiel et porteur.

Développée et utilisée avec succès pour le traitement de l'eau, la photocatalyse s'affiche, depuis les années 90, comme une technique innovante pour traiter les effluents industriels dans l'air. Cette technique a fait l'objet de nombreuses recherches en laboratoire (la France se place au 4^{ème} rang des publications scientifiques), lui confirmant des propriétés intéressantes. Des travaux plus récents menés en extérieur et intérieur permettent d'apporter un nouvel éclairage sur cette technique.

Description

La photocatalyse est une technique consistant à détruire des composés gazeux (composés organiques volatils principalement, COV) en les dégradant à la surface d'un catalyseur. En présence d'oxygène et de vapeur d'eau, le rayonnement ultra-violet qui active un matériau semi-conducteur permet aux molécules entrant en contact avec la surface réactive de se transformer en dioxyde de carbone et en vapeur d'eau. Cette technique permet d'éliminer les micro-organismes ou les odeurs mais également d'autres composés gazeux inorganiques comme les oxydes d'azote.



Chiffres clés

Le traitement de l'air par photocatalyse a été développé au Japon, pays le plus en pointe pour commercialiser cette technique, dans les années 70. Des applications destinées aux secteurs industriels et au traitement en extérieur émergent depuis les années 90. Depuis le début des années 2000, l'offre s'oriente également vers des applications en intérieur.

Les solutions techniques commercialisées dans le domaine de l'épuration de l'air se décomposent en deux familles :

- ✓ Les épurateurs d'air utilisés en intérieur, mobiles (unité autonome), fixes (plafonnier, console murale) ou couplés au réseau de ventilation (les systèmes CVC¹ : Chauffage, Ventilation et Conditionnement de l'air) ;
- ✓ Des matériaux dits « photoactifs » utilisés pour le traitement de l'air intérieur ou extérieur (peintures de décoration, carrelages, revêtements de plaques ou de dalles, béton, ciments, enduits, céramiques, verres autonettoyants, peintures mais aussi bitumes...).

Plus de 87% du marché mondial du traitement de l'air par photocatalyse est réalisé dans le **secteur de la construction (environ 1 milliard d'euros)** dont l'essentiel concerne des applications de dépollution de l'air extérieur). Les applications liées à la qualité de l'air intérieur sont encore marginales. Pour le marché européen, l'estimation du potentiel de développement de la photocatalyse est de l'ordre de **quelques centaines de millions d'euros**.

¹ Système combiné Chauffage Ventilation Climatisation



Etat des connaissances

Avantages

Air extérieur : dégradation de polluants comme les oxydes d'azote

Si la photocatalyse pour traiter l'air permet surtout d'éliminer les COV (composés organiques volatils), certains travaux ont aussi étudié des polluants inorganiques tels que les oxydes d'azote (NOx). Des expérimentations, menées grande nature, sur des revêtements de bâtiment² ou de route³ (matériaux photoactifs : mortiers et ciments) ont montré une **réduction des concentrations de NOx allant jusqu'à 40 à 57%**, à proximité immédiate des zones où sont utilisés ces matériaux. D'autres expérimentations ont été moins concluantes sur l'efficacité de la photocatalyse, en raison notamment d'une saturation trop rapide du semi-conducteur.

Air intérieur : élimination de micro-organismes et dégradation de certains COV

Outre les polluants gazeux, la photocatalyse permet, sous certaines conditions, d'éliminer certains COV, ainsi que les micro-organismes grâce à un effet germicide. Les micro-organismes s'accrochent suffisamment longtemps à la surface du semi-conducteur pour que cela bloque leur reproduction (effet bactériostatique) ou les détruit (effet bactéricide).

Points de vigilance

Une efficacité non prouvée en conditions réelles d'utilisation ...

Peu de recherches en conditions réelles d'utilisation de la photocatalyse ont été effectuées à ce jour. Les quelques expérimentations menées dans les ambiances intérieures sur un système de ventilation équipé d'un filtre catalytique⁴ ont montré de forts écarts de performances selon les mélanges de polluants employés et les débits d'air testés. Celles effectuées sur des épurateurs d'air autonomes et les matériaux photoactifs ont montré un **abattement très faible des molécules chimiques**. Des simulations numériques des écoulements d'air et des polluants à l'intérieur d'une pièce équipée de peintures photoactives montrent, notamment, une adsorption insuffisante des polluants et donc une efficacité peu significative. A ces constats s'ajoute le fait que le rendement d'un photocatalyseur décroît avec son usure. Enfin, le processus de photocatalyse peut avoir des effets non désirés sur son environnement, en affectant par exemple les propriétés des peintures (résistance, texture...) par l'oxydation de leurs composés organiques.

... car dépendante de plusieurs paramètres

Il est assez difficile de prédire, en toutes circonstances et précisément, les performances de matériaux ou de systèmes photocatalytiques étant donné les nombreux paramètres influençant l'efficacité du processus de photocatalyse.

La concentration du polluant : A partir d'un certain niveau de concentration, plusieurs études montrent que la vitesse de dégradation n'évolue plus en raison d'un phénomène de saturation de la surface du photocatalyseur⁵. Notamment, une étude⁶ menée sur les effluents gazeux d'une usine montre que le photocatalyseur pouvait être désactivé à partir d'un seuil de concentration en toluène de 1g/m³ car sa dégradation génère des sous-produits de réaction (benzaldéhyde, acide benzoïque) qui s'accumulent à la surface du photocatalyseur.

L'humidité : Si l'humidité favorise la génération de radicaux libres (qui vont dégrader le polluant efficacement), elle réduit à l'inverse les quantités de polluants pouvant se fixer à la surface du catalyseur. Il est aujourd'hui démontré, en air intérieur, qu'une humidité anormalement élevée tend à diminuer la performance des systèmes photocatalytiques de tous types, en plus de favoriser les moisissures. Par ailleurs, un effet « nettoyeur » des pluies est mis en évidence

² www.picada-project.com

³ Rapport ADEME. 2011. Impacts des aménagements routiers sur la pollution atmosphérique

⁴ Hodgson et al., 2005, Evaluation of ultra-violet photocatalytic oxidation (UVPCO) for indoor air applications: conversion of volatile organic compounds at low part-per-billion concentrations

⁵ Zhao et Yang, 2003, Photocatalytic oxidation for indoor air purification : a literature review

⁶ Rapport ADEME, 2010. Traitement innovant de COV par couplage photocatalytique



en extérieur, efficace pour avoir une surface du photocatalyseur⁷ ne se saturant pas trop vite. Des questions se posent toutefois sur la toxicité de ces eaux de ruissellement.

L'intensité lumineuse : En extérieur, la lumière UV naturelle est suffisante pour activer le phénomène photocatalytique, mais les conditions optimales d'épuration ne sont pas toujours garanties selon le moment de la journée, la latitude du lieu exposé, l'orientation locale du matériel ou encore la nébulosité. En intérieur, il convient de choisir des lieux recevant suffisamment de lumière du jour ou d'installer des lampes UV, ce qui entraîne une consommation supplémentaire en énergie. Sachant que les vitres stoppent les UV naturels, le procédé peut être adapté en dopant le semi-conducteur avec des métaux pour s'activer aussi dans le spectre de la lumière visible.

Le contact avec le catalyseur : L'efficacité des épurateurs (autonomes, CVC) dépend d'un **débit d'air** suffisant, et celle des matériaux « photoactifs », d'un **contact réel** au niveau des parois. Or, dans beaucoup de cas, les polluants et micro-organismes présents dans l'air d'une pièce peuvent être évacués par la ventilation ou l'aération avant d'avoir été en contact avec le catalyseur, ce qui rend le procédé inactif.

Les variations de température : Elles peuvent avoir un impact indirect sur l'efficacité de la technique en agissant sur le vieillissement mécanique des matériaux. Par exemple, les performances de la photocatalyse à des températures hivernales négatives, pour des applications extérieures, ne sont pas connues.

Méconnaissance des effets sur la santé

Les épurateurs d'air ou les matériaux dépolluants ayant recours à la photocatalyse utilisent en grande majorité du **dioxyde de titane** (TiO₂) à l'échelle nanométrique, classé par le CIRC⁸ depuis 2007 comme « cancérigène possible pour l'homme ». Les éventuelles émissions de particules de TiO₂ par les produits photocatalytiques commercialisés et l'exposition des personnes restent inconnues à ce jour. Par ailleurs, en cas de dégradation incomplète des polluants, la photocatalyse peut générer des **composés appelés également sous-produits nocifs pour la santé ou l'environnement**, comme des cétones et des aldéhydes⁹. Enfin, un processus complet de dégradation peut également être source de polluants (nitrates par exemple).

Consommation énergétique

Les matériaux photoactifs ont l'avantage d'être économes en énergie si la source de lumière est naturelle (UV) ce qui dispense de l'installation de lampes. En revanche, les épurateurs photocatalytiques consomment de l'énergie, de façon relativement limitée pour les petits systèmes autonomes, mais de façon non négligeable pour les systèmes de chauffage, ventilation et climatisation (CVC) destinés à intégrer un bâtiment. Dans l'industrie, une opération de traitement des effluents gazeux, accompagnée par l'ADEME, a montré que la photocatalyse pouvait être peu adaptée en raison de son coût énergétique et de ses performances insuffisantes¹⁰.

Nécessité d'une certification des produits

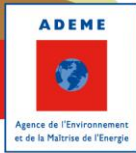
Malgré la multiplication des offres sur le marché, les consommateurs et maîtres d'ouvrage n'ont pour l'instant aucun moyen de connaître l'efficacité réelle des appareils et matériaux proposés. Il est donc nécessaire de mettre en place une norme pour vérifier la performance des systèmes épurateurs et matériaux en toutes circonstances, ainsi que leur innocuité. En France, des travaux sont menés sous l'égide de l'AFNOR depuis 2007 pour mettre au point des méthodes d'essais normalisées. Trois normes expérimentales existent aujourd'hui : l'une porte sur l'épuration des NOx par les matériaux photocatalytiques en extérieur (XP B 44-011, publiée en 2009), une deuxième sur l'efficacité des purificateurs d'air commerciaux pour éliminer les COV en intérieur avec recirculation de l'air (XP B 44-013, publiée en 2009) et une troisième sur les épurateurs d'air autonomes pour le secteur tertiaire ou résidentiel (XP B 44-200, publiée en 2011).

⁷ A. Beeldens and L. Cassar, 2007, Reduction of air-pollutants : application of TiO₂ photocatalysis

⁸ CIRC, Centre international de recherche sur le cancer, classement 2B

⁹ Formaldéhyde classé cancérigène certain chez l'homme par le CIRC en 2004. Acétaldéhyde classé cancérigène possible chez l'homme par le CIRC en 1999

¹⁰ Le rendement photocatalytique était 8 fois inférieur au rendement nécessaire pour traiter toute la pollution de l'air émise par l'usine.



Action de l'ADEME

Certification

L'ADEME soutient depuis 2005 des travaux sur l'épuration de l'air par photocatalyse, ce qui a notamment contribué en 2011 à la publication de la norme expérimentale XP B44-200 sur les épurateurs d'air autonomes. D'autres travaux, en cours en 2012, consistent en la mesure sur banc d'essai de l'efficacité d'épuration de 6 systèmes couplés au réseau de ventilation représentatifs de l'offre existante pour les bâtiments tertiaires : vérification de leur innocuité et prise en compte de leur impact sur les consommations énergétiques des bâtiments.

Recherche

L'ADEME aide le développement de la recherche et du benchmark sur la photocatalyse. L'Appel à Projets de Recherche CORTEA : Connaissance, Réduction à la source et Traitement des Emissions dans l'Air porte, entre autres, sur l'évaluation de l'innocuité des systèmes d'épuration de l'air par photocatalyse en milieu intérieur. Plusieurs états de l'art sur les matériaux photocatalytiques (utilisés en milieu extérieur et intérieur) sont publiés par l'ADEME (Pour en savoir plus).

POUR EN SAVOIR PLUS

Publications

- [Guide pratique ADEME « un air sain chez soi » – novembre 2012](#)
- Etat de l'art traitant des impacts des matériaux photocatalytiques sur les polluants chimiques et microbiens des environnements intérieurs – novembre 2011
- Etat de l'art traitant des matériaux photocatalytiques pour le traitement de l'air extérieur –mars 2011
- Etat de l'art traitant des impacts des aménagements routiers sur la pollution atmosphérique –juillet 2011
- PHOTOBAT : étude sur la photochimie du bâti - Sources et puits de polluants oxydants – [rapport complet](#) – [synthèse](#)
- [Bulletin de l'OQAI n°4 : L'épuration par photocatalyse, opportunité ou menace pour la qualité de l'air intérieur ?](#) –juin 2012
- [Dispositif ETV](#)
- Rapport « Mise en place de protocoles de qualification des appareils d'épuration d'air », mai 2006 (convention ADEME N°0404C0080)
- Rapport CETIAT « Développement d'une méthode d'essais des épurateurs d'air », Janvier 2010 (Convention ADEME n° 0604C0082)

CE QUE L'ADEME PRÉCONISE

Pour l'ADEME, la priorité en matière d'amélioration de la qualité de l'air doit être donnée à la prévention de la pollution. Pour l'air extérieur, le développement de technologies sobres et propres et de plans de prévention est à privilégier afin de limiter notamment aux échelles locale ou régionale la pollution dans l'air. En air intérieur, les sources de pollution doivent être limitées et ensuite, l'évacuation des polluants par une bonne aération et ventilation des bâtiments doit être favorisée. L'épuration de l'air par photocatalyse n'est à envisager que dans le cadre d'actions ponctuelles et spécifiques.

En effet, les procédés photocatalytiques sont loin d'être pertinents dans toutes les situations. Ils peuvent éventuellement être employés pour un traitement de l'air faiblement pollué, avec une source de lumière naturelle suffisante et pour des débits d'air permettant le transport des composés polluants vers les appareils et matériaux photocatalytiques tout en respectant un temps de contact suffisant pour que le processus puisse avoir lieu. Leur usage est encore limité, notamment dans les ambiances intérieures car les conditions optimales de performances sont rarement réunies.

Des recherches doivent toutefois être menées pour approfondir les connaissances sur les impacts des systèmes photocatalytiques sur l'environnement et la santé (liés à l'évolution dans le temps du semi-conducteur – dissémination, toxicité – et à la génération de sous-produits toxiques par la réaction de photocatalyse).

L'ADEME soutient la recherche sur l'efficacité et l'innocuité de ce procédé ainsi que les travaux de certification sur l'efficacité des systèmes mis sur le marché. Des normes sur certains traitements de l'air par photocatalyse (épurateurs autonomes) visant à qualifier l'efficacité et l'innocuité de différents appareils et produits sont aujourd'hui disponibles pour une meilleure information des consommateurs et maîtres d'ouvrage. D'autres normes sont encore inexistantes, notamment sur les systèmes passifs à matériaux photoactifs. Sans garantie sur l'efficacité et surtout l'innocuité du procédé, l'ADEME recommande, en l'état actuel des connaissances, de se référer aux travaux de normalisation. Afin de valider les performances environnementales de leurs systèmes innovants de photocatalyse, les constructeurs pourront faire vérifier leur technologie par une tierce partie dans le cadre du dispositif de vérification ETV (Environmental Technology Verification).