



L'épuration par photocatalyse

Opportunité ou menace pour la qualité de l'air intérieur ?

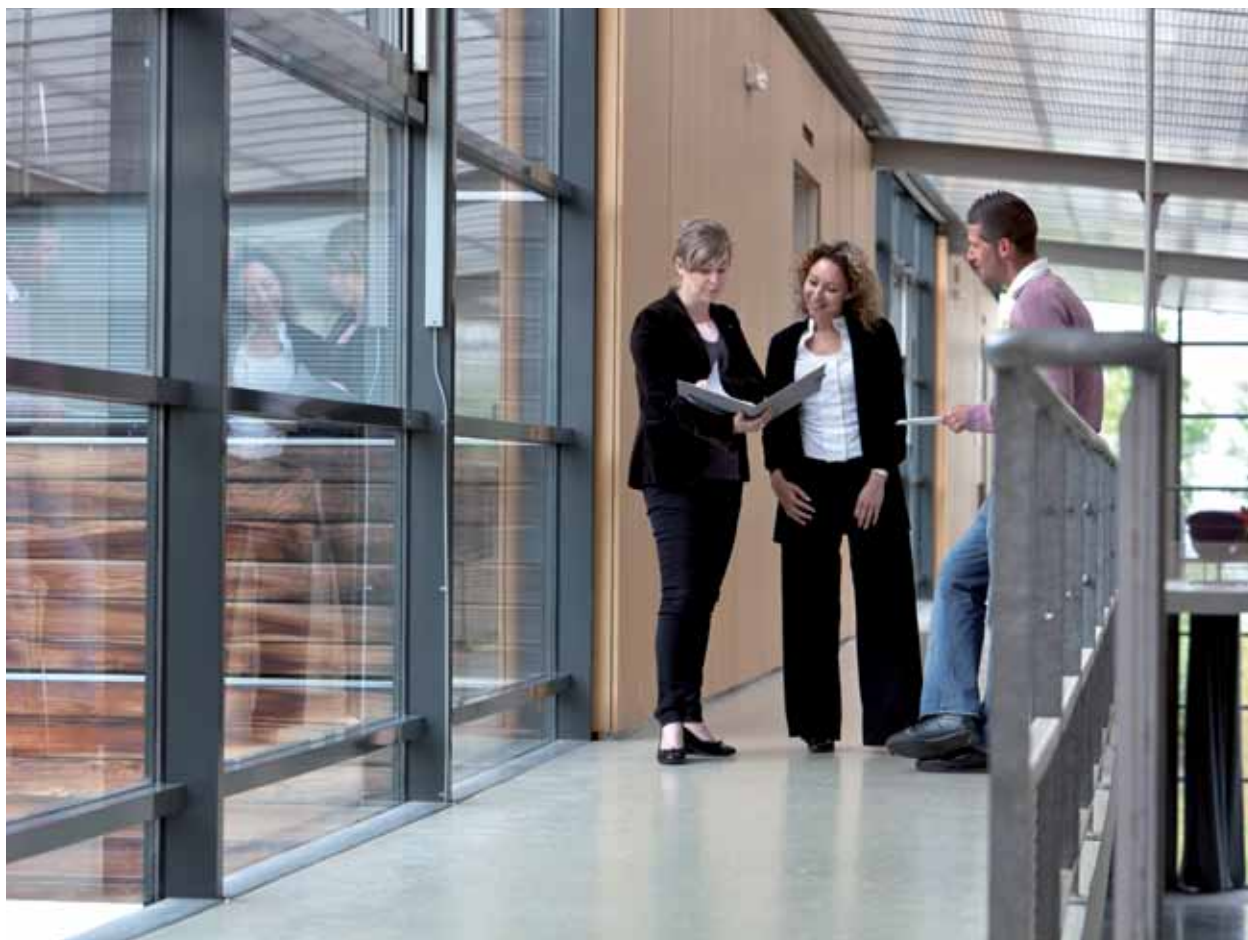
L'Observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI), en partenariat avec l'Université de la Rochelle, a fait le point lors d'un atelier public le 25 juin 2012, sur l'état des connaissances scientifiques relatives à l'efficacité et l'innocuité des procédés utilisant la photocatalyse dans les environnements intérieurs et les perspectives de développement de ces procédés. Ce bilan est le résultat de la journée scientifique du 2 avril 2012 qui a réuni les spécialistes du domaine.

Découvertes il y a presque 50 ans, les propriétés épuratrices de la photocatalyse font l'objet de nombreuses applications dans le domaine industriel. Mais qu'en est-il de leur efficacité dans le domaine de l'air intérieur ? Peut-on garantir l'innocuité des systèmes et des produits photocatalytiques dans les espaces habités ? Ce bulletin présente un bilan des connaissances actuellement disponibles, les limites et perspectives, ainsi que les recommandations de l'OQAI.



Sommaire

- P. 04** | Comment marche la photocatalyse ?
Quels sont les différents produits ?
- P. 06** | Une efficacité contestable
dans les environnements intérieurs
- P. 09** | Une innocuité non démontrée
- P. 10** | Quelles sont les pistes d'amélioration ?
- P. 11** | La normalisation pour mieux évaluer
l'efficacité et les risques
- P. 12** | La photocatalyse :
risques, avantages et inconvénients
- P. 12** | Les recommandations de l'OQAI



Longtemps réservée au traitement de l'eau et des effluents industriels, la photocatalyse n'a que tardivement été utilisée pour épurer l'air intérieur des différents lieux clos. Les premiers systèmes ne sont apparus sur ce marché spécifique qu'au début des années 2000. On assiste aujourd'hui à l'émergence de produits photocatalytiques de toutes sortes, des plus sérieux aux plus improbables, comme certains objets de décoration vantés pour leurs vertus assainissantes.

La maîtrise des sources de pollution et le renouvellement d'air des locaux sont les moyens d'action prioritaires à mettre en œuvre pour limiter la pollution de l'air intérieur. Une fois ces règles de base appliquées, il est alors envisageable de déployer en complément des systèmes pour contribuer à l'épuration de l'air intérieur.

En effet, la photocatalyse a de sérieux atouts à faire valoir dans le cadre de la réduction de l'exposition de la population à la pollution intérieure. Comparée à d'autres techniques d'épuration de l'air (charbon actif, filtration, etc.), elle est souvent

présentée comme une technologie universelle, à la fois capable de dégrader les composés chimiques et les micro-organismes de l'air, dans les conditions normales de température et de pression atmosphérique.

Ces qualités et ces perspectives prometteuses ne sauraient pourtant occulter les incertitudes caractérisant des procédés photocatalytiques qui ne sont pas encore optimisés pour les environnements intérieurs. En l'état actuel des connaissances, leur efficacité n'est pas montrée dans ces environnements si particuliers. Rien ne permet de dire que les lieux de vie sont réellement adaptés à leur déploiement en toutes circonstances. À défaut de certification, rien ne permet non plus d'affirmer que tel produit a des performances supérieures à tel autre. La journée scientifique organisée par l'OQAI a néanmoins montré que la recherche méritait d'être poursuivie, que des pistes d'amélioration existaient, mais que l'innocuité non démontrée des procédés invitait à la prudence. ●

Comment marche la photocatalyse ? Quels sont les différents produits ?

La photocatalyse vise principalement à détruire les composés organiques volatils (COV), mais elle peut également avoir des effets sur les micro-organismes et les gaz inorganiques présents dans l'air. Ses principes mettent en jeu plusieurs phénomènes physico-chimiques.

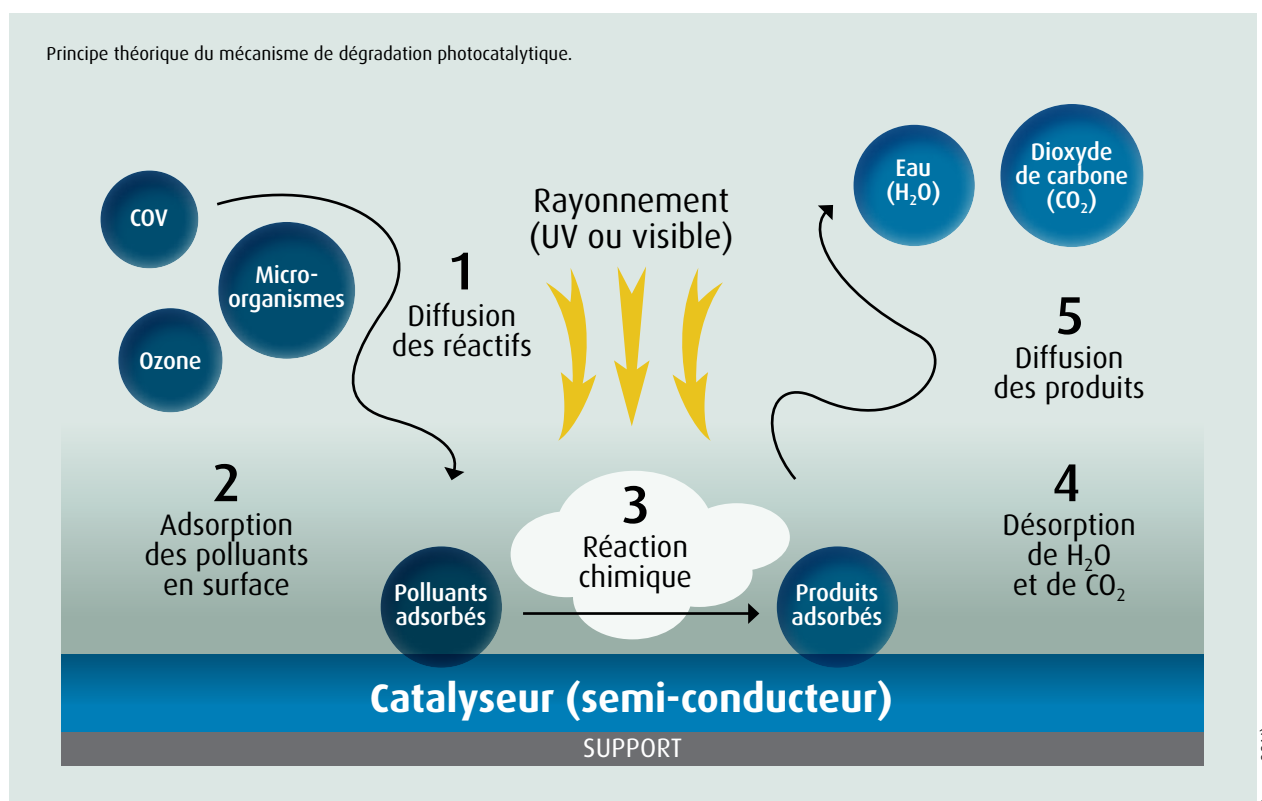
Comment la photocatalyse agit-elle sur les COV ?

La première étape du processus se caractérise par l'adsorption d'oxygène, de vapeur d'eau et de composés organiques volatils présents dans l'air par un matériau semi-conducteur. Il s'agit le plus souvent de dioxyde de titane (TiO_2), mais d'autres semi-conducteurs peuvent présenter des caractéristiques intéressantes pour le traitement de l'air. L'irradiation avec un rayonnement (UV et visible) provoque un transfert de charges au sein des particules de semi-conducteur qui aboutit, en présence des molécules d'eau et d'oxygène adsorbées, à la formation d'espèces très réactives : ions superoxydes (O_2^-), radicaux hydroxyles ($\text{OH}\cdot$) et radicaux hydroperoxydes ($\text{HO}_2\cdot$).

Dans un second temps, ces espèces déclenchent des réactions chimiques en chaîne conduisant à la minéralisation⁽¹⁾ des COV présents à la surface du semi-conducteur. Le mécanisme de photodégradation s'achève par la désorption des produits de la minéralisation, autrement dit par le rejet de dioxyde de carbone (CO_2) et de vapeur d'eau (H_2O).

Comment agit-elle sur les micro-organismes ?

Plusieurs facteurs peuvent être impliqués dans l'action des photocatalyseurs sur les micro-organismes présents dans l'air. Les radicaux libres précités ($\text{OH}\cdot$ et $\text{HO}_2\cdot$), très réactifs avec les COV, sont aussi très agressifs vis-à-vis des micro-organismes. Combinés au peroxyde d'hydrogène (H_2O_2), également produit par le semi-conducteur sous l'action des UV, ils constituent de puissants biocides. Par ailleurs, le choix de lampes d'irradiation générant un rayonnement UVC très énergétique occasionne des perturbations plus ou moins profondes de la structure ADN des cellules vivantes. Selon la dose d'énergie UVC reçue, les cellules seront éliminées ou leur multiplication sera stoppée.





Les appareils autonomes.

Les différents produits photocatalytiques

Des papiers muraux aux sprays de revêtement, en passant par toute une gamme d'appareils autonomes, les solutions d'épuration photocatalytique de l'air intérieur sont nombreuses et variées. Elles peuvent être regroupées en deux grandes familles de produits : les systèmes qui fonctionnent en dynamique et les matériaux photoactifs.

Dans la première famille de produits, il convient de distinguer les appareils autonomes du point de vue aéraulique, c'est-à-dire équipés de leur propre ventilateur, et les systèmes dits CVC (Chauffage, Ventilation et Conditionnement de l'air) qui s'intègrent au réseau de distribution d'air du bâtiment. Ces derniers systèmes, relativement complexes, sont plutôt destinés à être utilisés dans des bâtiments de type bureaux, commerces de taille importante, etc.

Les appareils autonomes

Principalement réservés à l'usage domestique, les appareils autonomes se présentent sous la forme d'unités mobiles ou fixes, de type plafonnier ou console murale qui, pour certains, combinent les fonctions d'épuration et de climatisation. Ils fonctionnent par recyclage de l'air intérieur de la pièce (air aspiré par l'appareil, traité, puis rejeté dans la pièce), avec un nombre de passages qui est déterminé par le rapport entre le débit d'air traité par l'appareil et le débit de ventilation des locaux, soit typiquement un minimum de 4 ou 5 passages pour un logement selon la nature de la pollution à épurer. L'efficacité du système doit donc être élevée pour que son impact sur la qualité de l'air intérieur soit significatif.



Peinture comportant des pigments photocatalytiques.

Les systèmes photocatalytiques CVC

Ces systèmes, qui ne concernent pas l'habitat, se présentent sous la forme de modules-filtres ou de cassettes qui s'intègrent dans le réseau de distribution d'air du bâtiment. Ils n'offrent de véritable intérêt que dans le cadre d'installations centralisées avec un recyclage partiel de l'air intérieur extrait. Installés en sortie d'une centrale de traitement d'air ou au niveau des bouches de soufflage, ils traitent la pollution d'origine intérieure et extérieure en plusieurs passages. La Ventilation Mécanique Contrôlée (VMC) double flux sans recyclage et la VMC simple flux par extraction – pour laquelle il n'y a pas d'insufflation d'air dans les locaux – sont des dispositifs inadaptés à l'épuration avec ce procédé. >>

(1) Minéralisation : conversion de matière organique (COV) en matière inorganique (dioxyde de carbone + eau) équivalente à une réaction d'oxydation complète.

Des systèmes inadaptés pour l'habitat

Attention : une idée fautive est communément répandue, consistant à présenter les VMC simple ou double flux comme susceptibles d'assurer une fonction d'épuration active de l'air intérieur des logements. Or, dans l'habitat, la fonction essentielle des dispositifs de ventilation, naturelle ou mécanique, dont les bouches d'extraction d'air sont situées dans les pièces sources de vapeur d'eau (telles que cuisine et salles d'eau), est d'évacuer l'excès d'humidité, afin d'éviter les condensations persistantes, susceptibles de dégrader le bâti et d'affecter la santé des habitants, et de contribuer à évacuer les polluants de l'air intérieur produits dans le cadre d'une occupation domestique normale du logement.

Le renouvellement d'air correspondant n'a pas vocation à évacuer des pollutions importantes, qui doivent être gérées par une limitation à la source et une aération par ouverture des fenêtres. Le recyclage d'air n'étant pas autorisé en logements, l'intégration de modules photocatalytiques aux installations de VMC dans l'habitat serait sans effet sur le traitement des polluants émis à l'intérieur du logement.

Rappel : ne pas confondre la récupération de chaleur sur air extrait, que permettent généralement les VMC double flux (transfert d'une partie de la chaleur contenue dans l'air extrait à l'air neuf entrant, via un échangeur, sans mélange de ces flux d'air), et le recyclage d'air (insufflation dans les locaux autres que d'habitation d'un mélange d'air neuf provenant de l'extérieur, et d'air extrait repris après circulation dans ces locaux).

>> Les matériaux photoactifs

Quatorze types de matériaux photoactifs, à la fois additivés de dioxyde de titane et dédiés aux environnements intérieurs, ont été recensés sur le marché⁽²⁾. Une dizaine d'entre eux revendiquent une action dépolluante ou antimicrobienne. Les produits les plus courants sont les peintures dans lesquelles ont été incorporés des pigments photocatalytiques. Le rayonnement UV étant stoppé par les vitrages, ces pigments sont dopés par l'adjonction de différents éléments chimiques de manière à ce que la photocatalyse puisse être initiée par le rayonnement visible. ●

(2) Le dioxyde de titane peut être appliqué sous la forme de couches minces ou réparti dans la masse.

Une efficacité contestable dans les environnements intérieurs

De nombreuses publications scientifiques font état d'une forte diminution des concentrations de polluants grâce à des systèmes photocatalytiques. Mais rares sont les essais effectués dans des environnements réels ou dans des environnements contrôlés se rapprochant des situations réelles. Aussi performantes soient-elles sous certaines conditions restreintes de laboratoire, les techniques photocatalytiques doivent encore être éprouvées en regard de la spécificité de l'air intérieur et des contraintes de fonctionnement des bâtiments. À l'heure actuelle, leur efficacité reste contestable *in situ*. Certains cas de détérioration de la qualité de l'air intérieur ont même pu être observés, en raison de la formation de sous-produits réactionnels pouvant présenter des effets néfastes sur la santé.

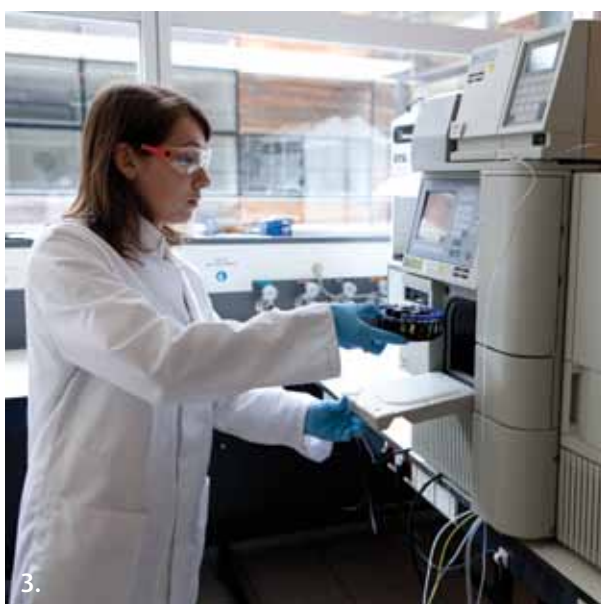
L'air intérieur : un environnement spécifique

Comparés aux environnements industriels, les environnements des lieux de vie se caractérisent par une plus grande diversité et par de plus faibles concentrations de polluants. Les conditions atmosphériques – humidité et température – ainsi que la nature et le degré de pollution sont susceptibles de varier d'un bâtiment, d'une occupation ou d'une saison à l'autre. Variété des substances chimiques et des agents microbiologiques, variabilités spatio-temporelles de leurs concentrations, réactivité chimique impliquant la formation de nouvelles espèces, taux d'humidité et température des locaux sont autant de paramètres environnementaux qui influencent l'efficacité des systèmes photocatalytiques. Des influences difficiles à qualifier dans la mesure où elles s'exercent suivant plusieurs modes d'interaction et dans des directions parfois opposées : promotion ou réduction de l'adsorption à la surface du catalyseur, promotion ou inhibition de la production de radicaux libres, etc.

Au final, de sérieux écarts d'efficacité peuvent être constatés selon les environnements, comme l'attestent les résultats d'Hodgson et al. (2005)⁽¹⁾. Ces auteurs ont testé un système photocatalytique CVC en employant quatre mélanges de polluants représentatifs de la pollution de l'air intérieur et des débits caractéristiques de ceux mis en œuvre dans les instal-



1. Évaluation en laboratoire des émissions de composés chimiques et efficacité de la photocatalyse sur des carrelages céramiques – CSTB.
2. Échantillons prêts à l'analyse.
3. Les échantillons prélevés en sortie de chambre sont analysés par chromatographie liquide haute performance (HPLC). Laboratoire CSTB.



lations de ventilation. Concernant deux de ces mélanges, les différences d'efficacité d'épuration relevées étaient mineures pour certaines espèces (64 % contre 59 % pour le limonène par exemple), significatives pour d'autres (75 % contre 55 % pour le phénol par exemple) ou très importantes pour l'hexanal (65 % contre 19 %).

Effacité et limites des systèmes CVC et autonomes

Puissance et spectre lumineux des lampes d'irradiation (UVA ou UVC), nature du semi-conducteur, géométrie et surface d'échange du réacteur font partie des paramètres dont dépend l'efficacité intrinsèque d'un système. Le produit de cette efficacité intrinsèque par le débit d'air traité donne une grandeur de l'efficacité globale du système. Il s'agit du débit d'air épuré (DAE) qui s'exprime en volume d'air épuré par unité de temps (m^3/s). Le DAE permet d'apprécier l'impact d'un dispositif d'épuration sur la qualité de l'air d'une pièce ou d'un bâtiment en se référant au débit de ventilation de ces derniers. On peut estimer, par exemple, qu'un dispositif dont le DAE vis-à-vis d'un polluant cible est équivalent au débit de ventilation des locaux, permettra de réduire de moitié la concentration de ce polluant dans l'air Intérieur.

Cette expression de la performance globale par le DAE ne doit toutefois pas faire oublier que la performance en condition réelle peut être assez différente de celle mesurée sur un banc d'essai en raison de la diversité des environnements rencontrés *in situ*. Le DAE lui-même peut varier en fonction des conditions opératoires retenues en laboratoire. À l'heure actuelle, les DAE mentionnés par les fabricants ne permettent pas de

garantir à un maître d'ouvrage l'efficiace réelle des installations. D'autre part, le maintien de la performance dans le temps suscite beaucoup d'interrogations. Sur la base d'essais en environnements contrôlés, plusieurs études mentionnent l'éventualité d'une diminution progressive de l'efficacité de conversion, voire d'une désactivation complète du photocatalyseur par vieillissement. L'encrassement du photocatalyseur par des sous-produits de réaction peu volatils, par l'accumulation de poussières ou par la photopolymérisation de certaines espèces, en particulier le benzène, serait à l'origine de ce phénomène. Par ailleurs, il conviendrait de s'assurer que le fonctionnement en œuvre de l'épurateur autonome dans la pièce ne perturbe pas le transport de l'air neuf tel que prévu dans le principe de ventilation. Faute de quoi la qualité de l'air de la pièce ne serait pas globalement assurée. >>

(1) Hodgson A.T., Sullivan D.P., Fisk W.J. (2005) *Evaluation of ultra-violet photocatalytic oxidation (UVPCO) for indoor air applications: conversion of volatile organic compounds at low part-per-billion concentrations*. Rapport LNBL-58936. 64 p.

Pilote photocatalytique
à flux traversant en
régime continu multi-pass.
Laboratoire Ecole
des Mines de Nantes.

>> Efficacité et limites des matériaux photo-actifs

Plusieurs études indépendantes ont été publiées sur l'efficacité des matériaux photo-actifs ces dernières années. Elles tendent toutes à démontrer un faible impact du processus photocatalytique sur la pollution intérieure.

Au-delà de toute considération sur la faculté de ces matériaux à minéraliser les COV, des simulations numériques des écoulements d'air et de polluants à l'intérieur d'une pièce montrent que la faible efficacité des peintures ou des papiers muraux photo-actifs peut en grande partie s'expliquer par une adsorption ou un dépôt insuffisant des polluants à leur surface. Il a en effet été constaté que la majorité des molécules et micro-organismes émis dans l'air d'une pièce est évacuée par la ventilation sans avoir été en contact avec les parois de la pièce.

Les espaces intérieurs ne sont pas non plus des environnements propices à la régénérescence des matériaux photocatalytiques. Ils ne sauraient se prévaloir des conditions liées aux milieux extérieurs, pour lesquels le lessivage par les eaux de pluie joue un rôle primordial sur la pérennité des performances, comme dans le cas des enduits de façade ou des vitrages photocatalytiques utilisés pour leurs propriétés auto-nettoyantes.

Plus critique du point de vue sanitaire, une dégradation possible de la qualité de l'air intérieur par la production de composés secondaires. Par exemple, la formation secondaire d'aldéhydes et de cétones est régulièrement observée. Une réaction d'oxydation incomplète serait à l'origine de cette formation où le formaldéhyde, l'acétaldéhyde, le propanal et l'acétone sont les principaux composés carbonylés identifiés. De plus, dans le cas des peintures, les radicaux libres générés par le dioxyde de titane oxyderaient non seulement les polluants présents dans l'air, mais également la matière organique de celles-ci, comme les liants et les additifs. En d'autres termes, les peintures elles-mêmes se dégraderaient par photocatalyse au fil du temps.

Quels impacts énergétiques ?

Dans le domaine énergétique, on observe, là encore, des situations très différentes selon les procédés utilisés : les matériaux photo-actifs ne consomment pas d'énergie directement mais il peut être cependant nécessaire de les exposer suffisamment



à un éclairage artificiel. La puissance absorbée par les épurateurs autonomes est de l'ordre de quelques centaines de watts. Les systèmes photocatalytiques CVC entraînent, quant à eux, une surconsommation d'énergie en augmentant la perte de charge des ventilateurs. Le surcoût en électricité d'un système CVC performant est d'environ 13€ par personne et par an dans l'exemple d'un plateau de bureaux. Ces consommations énergétiques, raisonnables d'un point de vue budgétaire, deviennent plus problématiques dans le cas des systèmes CVC lorsqu'on les replace dans le cadre de la nouvelle réglementation thermique de 2012 (RT2012). Les systèmes photocatalytiques CVC sont, en effet, de gros consommateurs en énergie primaire : ils induisent une surconsommation de l'ordre de 14 kWh/(m².an) dans l'exemple de bureaux précédent, ce qui peut avoir un impact sensible sur la performance énergétique du bâtiment et paraître réhibitoire pour de nombreux maîtres d'ouvrage⁽²⁾. ●

(2) La RT2012 impose en construction neuve une performance du bâtiment exprimée sous la forme d'une consommation conventionnelle en énergie primaire ne devant pas dépasser 50 kWh/(m².an) en moyenne sur le territoire dans l'habitat. Des valeurs différentes spécifiques sont fixées pour les bâtiments non résidentiels. À la différence des épurateurs autonomes, les dépenses énergétiques des systèmes photocatalytiques CVC, qui font partie du système de ventilation du bâtiment, doivent être intégrées au calcul de cette énergie primaire. À l'avenir, l'utilisation de lampes d'irradiation plus efficaces ou de filtres photocatalytiques occasionnant moins de pertes de charge devrait permettre de réduire l'énergie primaire consommée.

Une innocuité non démontrée

Au-delà de la question de l'efficacité *in situ*, la question de l'innocuité constitue l'un des principaux freins à une plus large diffusion des systèmes photocatalytiques. Le premier problème posé est inhérent au principe même de la photocatalyse. Il concerne la production de composés secondaires. Le second est relatif à la toxicité des nanoparticules de dioxyde de titane qui pourraient potentiellement être émises dans l'air intérieur par les systèmes photocatalytiques.

La problématique des sous-produits

Le processus de dégradation des COV par photocatalyse est un processus lent. Il est encore plus lent avec les bioaérosols, autrement dit avec les particules d'origine microbienne, animale ou végétale de l'air. Quelle que soit la nature des polluants, cette faible cinétique de minéralisation s'accompagne d'une formation de produits issus de réactions incomplètes ou secondaires. Ces sous-produits, dont les quantités formées sont difficiles à prévoir en raison de la diversité et des fluctuations des conditions environnementales intérieures, sont parfois plus toxiques que ne le sont les polluants primaires. Il s'agit pour la plupart de formaldéhyde ou d'autres composés carbonylés. Des cas de formation d'endotoxines ou de phosgène, produit de la décomposition des composés halogénés, ont également été identifiés ponctuellement. Leur formation doit cependant être jugée en regard de leur toxicité et de l'amélioration globale de la qualité de l'air que procure le système.

Les incertitudes sur le dioxyde de titane (TiO₂)

La plupart des photocatalyseurs commercialisés utilisent du dioxyde de titane à l'échelle nanométrique, une échelle mille fois plus petite que l'échelle micrométrique. Les particules à l'état nanométrique ont l'avantage d'offrir une plus grande surface d'échange avec l'air pour une même quantité de matière et, par conséquent, de générer une plus grande activité photocatalytique. Mais cette augmentation de la surface de contact disponible intervient également au niveau des tissus biologiques.

Une étude récente a montré que les nanoparticules de dioxyde de titane présentes dans le sang de souris gravides traversent le placenta et se retrouvent dans le foie et le cerveau des fœtus⁽¹⁾. Une étude chez le rat a montré leur migration vers le cerveau par le nerf olfactif après instillation nasale⁽²⁾. Tou-



jours chez le rat, il a été clairement établi que le TiO₂ de taille nanométrique provoque le cancer du poumon⁽³⁾. Bien que de nombreux scientifiques affirment que cette cancérogénèse n'est pas transposable à l'être humain, cela a tout de même conduit le CIRC à classer le dioxyde de titane comme cancérogène possible pour l'homme en 2007 (catégorie 2B), à la fois sous sa forme nanométrique et micrométrique.

Aussi inquiétants soient-ils, ces risques sanitaires potentiels du TiO₂ dépendent essentiellement de la granulométrie des particules et des niveaux d'exposition des occupants des bâtiments. Mais très peu de données sont actuellement disponibles sur les émissions de dioxyde de titane par les produits photocatalytiques et sur le devenir de ces émissions⁽⁴⁾. Conscients des problèmes posés, et quitte à transiger un peu sur l'efficacité des systèmes, les fabricants sembleraient néanmoins s'orienter vers des produits utilisant des particules de plus grandes dimensions⁽⁵⁾. ●

(1) Yamashita K. et al. Silica and titanium dioxide nanoparticles cause pregnancy complications in mice. *Nature Nanotechnology* 2011; 6: 321-328. (2) Wang J. et al., Potential neurological lesion after nasal instillation of TiO₂ nanoparticles in the anatase and rutile crystal phases, *Toxicol Lett.* 2008;183 (1-3):72-80. (3) CIRC: Centre International de Recherche sur le Cancer. (4) Le relargage du dioxyde de titane dans l'environnement est encore mal estimé. On peut néanmoins supputer que l'utilisation de sprays représente des situations particulièrement à risque. (5) Les dimensions des nanoparticules primaires de TiO₂ vont de 10 à 50 nm, mais des agrégats plus gros peuvent se former lorsqu'elles sont conditionnées pour être intégrées dans les systèmes.

Quelles sont les pistes d'amélioration ?

La photocatalyse appliquée aux environnements intérieurs est une technologie encore jeune. La prédiction du comportement des épurateurs par l'expérimentation apparaît toujours très difficile en raison du nombre et de la variabilité des paramètres. Il n'existe pas de guides de dimensionnement et les maîtres d'ouvrages manquent de garanties sur l'impact de leurs installations. Plusieurs progrès ou pistes d'amélioration doivent néanmoins être considérés afin d'améliorer leur efficacité et limiter la formation de sous-produits réactionnels potentiellement néfastes pour la santé. Les essais en laboratoire se rapprochent de plus en plus des conditions opératoires *in situ*. La mise en place de procédures normalisées d'évaluation devrait permettre de vérifier à terme l'innocuité des systèmes en toutes circonstances, ainsi que garantir un niveau de performance minimal vis-à-vis des polluants prioritaires. Enfin, l'efficacité intrinsèque et les produits sont encore très perfectibles.

Travailler sur les produits

À l'heure actuelle, les constantes de temps des réactions photocatalytiques sont longues et peu en adéquation avec les impératifs de ventilation des bâtiments. La faible efficacité intrinsèque des systèmes nécessite que le temps de contact de l'air pollué avec les médias photocatalytiques soit important et que les taux de recirculation d'air soient élevés. Or, une centrale de traitement d'air (utilisation en bureaux, commerces...) ne peut assurer que 5 à 6 passages en recyclage partiel avec des vitesses de circulation contraintes par la taille des gaines et les débits d'air à introduire dans les locaux. À noter par ailleurs que le recyclage d'air intérieur n'est pas autorisé dans l'habitat.

Quant aux épurateurs autonomes, le nombre de passages de l'air dans le système, et par voie de conséquence l'impact sur la qualité de l'air intérieur, sont le plus souvent bien moindres que ne le laissent présager les courbes de performances affichées par les fabricants. Un vrai travail d'ingénierie, d'adaptation et de dimensionnement des produits photocatalytiques paraît nécessaire pour améliorer et rendre opérationnels les procédés photocatalytiques dans les environnements intérieurs.

Améliorer l'efficacité intrinsèque

D'autres pistes d'amélioration concernent l'efficacité intrinsèque des systèmes. Augmenter l'activité photocatalytique permettrait de traiter des débits d'air plus élevés, d'être plus économe en énergie, d'obtenir des taux de minéralisation plus importants et, par là même, de réduire les quantités d'intermédiaires réactionnels formées.

Des améliorations du taux d'adsorption et de conversion sont évoquées en modifiant la nature chimique de la surface du catalyseur. Le couplage du dioxyde de titane avec un métal, tel que le palladium, résoudrait les problèmes d'inactivité photocatalytique pour le monoxyde de carbone en présence d'humidité relative. Son couplage avec un autre semi-conducteur, tel que le trioxyde de tungstène, améliorerait l'adsorption des polluants et des intermédiaires. L'utilisation d'oxyde de gallium, pour sa part, permettrait de se prémunir de l'empoisonnement de la surface du catalyseur lors de la dégradation du toluène. Ces solutions doivent être considérées en regard de l'amoinissement des ressources de métaux précieux qu'elles pourraient engendrer et du coût induit.

Du côté de l'architecture des systèmes, des améliorations sont à envisager, notamment au niveau de la nature et de la structure du matériau qui est utilisé comme support du semi-conducteur. Deux principaux médias photocatalytiques existent aujourd'hui. Le premier est un papier qui ne laisse pas passer les UV et qui fonctionne sous un flux d'air léchant ou traversant. Le second peut être traversé par l'air avec de faibles pertes de charge et se présente sous la forme de feutres qui transmettent convenablement les rayonnements UV. Mais, depuis quelques années, de nouvelles recherches semblent s'orienter vers des matériaux inspirés par les développements sur la catalyse thermique, comme les monolithes cellulaires ou les mousses alvéolaires. Ces dernières possèdent un bon rapport surface/volume, elles assurent une bonne transmission de la lumière et elles occasionnent des pertes de charge trois fois inférieures aux médias de type feutre. ●

Photo ci-contre : veine
aéraulique d'évaluation
microbiologique des
procédés épuratoires CVC.
Laboratoire CSTB.

La normalisation pour mieux évaluer l'efficacité et les risques

Les travaux de normalisation sur la photocatalyse permettent d'évaluer l'efficacité et l'innocuité des produits. Ils seront des bases utiles pour informer les consommateurs sur leur qualité, les comparer et, de manière corollaire, stimuler la recherche et le développement.

En France, la commission AFNOR B44A, créée en 2007, comprend six groupes de travail qui visent à définir des normes de méthodes d'essais pour tester les différents systèmes et matériaux photocatalytiques. Les deux premières normes expérimentales sont parues en décembre 2009. La première, dédiée aux environnements extérieurs, concerne l'épuration des oxydes d'azote par les matériaux

photocatalytiques (AFNOR XP B44-011). La seconde traite de l'efficacité des purificateurs d'air commerciaux pour éliminer les COV dans l'air intérieur avec recirculation (AFNOR XP B 44-013).

En mai 2011, une troisième méthode d'essai a été publiée : norme AFNOR XP B 44-200. Elle s'applique à tous les épurateurs d'air autonomes pour le secteur tertiaire ou résidentiel, quelles que soient les techniques filtrantes (photocatalyse, charbons actifs...). Pour des concentrations voisines de celles de l'air intérieur, elles permettent de mesurer la performance intrinsèque, le débit d'air traité, les produits intermédiaires de réaction, l'acoustique et la puissance électrique absorbée par l'appareil. Les épurateurs sont testés

séparément avec un mélange de gaz (acétone, acétaldéhyde, heptane et toluène), des micro-organismes (bactérie *Staphylococcus epidermidis* et champignon *Aspergillus niger*) (annexe informative pour les essais avec les micro-organismes), des allergènes (*Felis domesticus* 1) et des particules inertes (aérosol de DEHS entre 0,3 et 5 µm).

La publication de ces normes est un premier pas qui en appelle d'autres. Des méthodes normalisées devront permettre de comparer, à terme, les systèmes et les appareils autonomes sur la base de leur aptitude réelle à épurer l'air intérieur. Raison pour laquelle le Groupe de Travail n°6 de l'AFNOR « aéralique des épurateurs » (GT6) a été créé en février 2011.



Remerciements. L'OQAI remercie tous les participants à la journée scientifique du 2 avril 2012 qui ont permis de faire une analyse critique des travaux présentés et de dégager des consensus sur la problématique de l'épuration de l'air intérieur par la photocatalyse. L'OQAI remercie plus particulièrement les intervenants qui ont exposé leurs travaux: Patrice Blondeau (Université de La Rochelle), Suzanne Déoux (Université d'Angers), Hugo Destaillets (Lawrence Berkeley National Laboratory, États-Unis), Fabien Gérardin (INRS), Otmar Geiss (Joint Research Centre, Italie), Alain Ginestet (CETIAT), Valérie Héquet (Ecole des Mines de Nantes), Pascal Kaluzny (président du CEN TC 386), Nicolas Keller (Université de Strasbourg) et Mélanie Nicolas (CSTB). Les actes de la journée scientifique sont consultables sur le site Internet de l'OQAI: <http://www.oqai.fr>.

Plus d'informations
sur le site Internet de l'OQAI
www.oqai.fr

Les recommandations de l'OQAI

À l'issue de la journée scientifique du 2 avril 2012, l'OQAI considère que l'efficacité et l'innocuité de la photocatalyse ne sont pas avérées dans les environnements intérieurs.

Évaluer les systèmes

L'OQAI recommande qu'il soit procédé à la certification de tous les systèmes et de tous les matériaux photocatalytiques afin d'assurer au consommateur des performances avérées et l'absence de risques sanitaires associés à leur utilisation. Quelques méthodes d'essais normalisés sont désormais disponibles à cet effet.

À noter qu'un avis a été émis le 5 mars 2002 par le CSHPF⁽¹⁾ sur le principe des épurateurs d'air autonomes.

Poursuivre les études *in situ*

L'OQAI recommande que soient menées d'avantage d'études *in situ*, encore rares à ce jour, dans des conditions proches de la réalité, aussi bien en habitat qu'en non résidentiel, et pour différents modes d'aération et de ventilation des locaux. Ces études devraient évaluer, selon différentes situations de polluants à traiter (nature, concentration initiale, mélanges prévisibles de polluants...), l'effet du système ou matériau photocatalytique expérimenté sur les polluants d'origine et la formation des sous-produits éventuels (nature, concentration, toxicité...). Il est également important de déterminer si les

systèmes peuvent fonctionner durant l'occupation des locaux et identifier les modifications éventuelles apportées au confort des occupants.

Maîtriser les sources et aérer avant tout

L'épuration par photocatalyse n'a bien entendu pas vocation à se substituer à l'aération et la ventilation des locaux et ne permet en aucun cas d'envisager de réduire les débits de ventilation dans les bâtiments munis de systèmes de ventilation. De même, l'aération des locaux par ouverture des fenêtres, lorsque cela est possible, est indispensable en cas de pollution ponctuelle (activités générant de l'humidité, activité de cuisson, travaux de bricolage, peinture, etc.), et il est recommandé d'aérer les logements au moins 10 minutes chaque jour, même par temps froid. Il convient par ailleurs prioritairement de limiter les sources de polluants, notamment par le choix de matériaux moins émissifs. À cet égard, il est rappelé que les nouveaux produits de construction et de décoration doivent porter une étiquette indiquant leur niveau d'émission en polluants volatils, cette obligation s'appliquant aux nouveaux produits depuis le 01/01/2012, puis à tous les produits à compter du 01/09/2013.

(1) CSHPF: Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France, devenu HCSP (Haut Conseil de la Santé Publique).

LA PHOTOCATALYSE EN AIR INTERIEUR RISQUES, AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS

Avantages

- Une efficacité potentielle sur les composés organiques volatils (COV) et les gaz inorganiques de l'air (ozone...), mais aussi sur les micro-organismes

Inconvénients

- Une efficacité non démontrée de manière systématique pour épurer l'air intérieur
- Des systèmes et des matériaux photocatalytiques non optimisés pour un usage dans les lieux de vie
- Des produits commercialisés non certifiés
- Un impact énergétique important pour certains systèmes dans le cadre de la nouvelle réglementation thermique 2012

Risques

- Des sous-produits potentiellement nocifs
- Des risques inconnus liés à l'utilisation de nanoparticules de dioxyde de titane



L'Observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI) a été créé en juillet 2001. Il est missionné par les ministères en charge du Logement, de l'Écologie et de la Santé, dans le cadre d'une convention entre ces trois ministères, le Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB), l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) et l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES).

