

EN SAVOIR PLUS SUR LA QUALITÉ DE L'AIR

SOMMAIRE

CONTEXTE La qualité de l'air, un sujet à ne pas prendre à la légère	Page 1
QU'EST CE QUE LA POLLUTION DE L'AIR ? Les types de Polluants	Page 1 - 2
UN PEU DE SCIENCES Oxymore : Une Efficacité Prouvée	Page 2
LÉGISLATION ET NORMES Règlementation Actuelle Et À Venir	Page 3
DEVELOPPEMENT DE LA TECHNOLOGIE DE PHOTOCATALYSE L'histoire D'oxymore	Page 4 - 5
POUR ALLER PLUS LOIN Avantages de la Photocatalyse pour le traitement de l'air	Page 5 - 8

CONTEXTE

La qualité de l'air, un sujet à ne pas prendre à la légère

Selon une étude de la Commission Européenne, **60 %** de la population française respire un air pollué et les impacts sur la santé sont réels :

- En Europe, plus de **40 000 décès** prématurés dus à la mauvaise qualité de l'air sont constatés chaque année
- En France, l'asthme touche **3,5 millions de personnes**, les insuffisances respiratoires graves en touchent **50 000**.

Cette pollution a également un coût économique : entre **20 et 30 milliards d'euros par an** pour les dommages sanitaires causés par les seules particules fines. Encore plus pour une pandémie comme le Covid-19.

À l'intérieur c'est encore pire ! Nous passons plus de 80 % de notre temps dans des lieux clos (logement, moyens de transport, lieu de travail/école...). L'air que nous y respirons est souvent de mauvaise qualité. Les sources potentielles de pollution dans les bâtiments sont en effet nombreuses : air extérieur, appareils à combustion, matériaux de construction et d'ameublement, activité humaine (tabagisme, produits d'entretien, bricolage, cuisine...).

La bonne qualité de l'air à l'intérieur d'un bâtiment a un effet démontré sur la santé, la qualité de concentration, le taux d'absentéisme, le bien-être et les relations entre les occupants. A contrario, une mauvaise qualité de l'air peut favoriser l'émergence de symptômes tels que maux de tête, fatigue, irritation des yeux, du nez, de la gorge et de la peau, vertiges ainsi que les manifestations allergiques et l'asthme.

QU'EST CE QUE LA POLLUTION DE L'AIR :

Les Types De Polluants

Il existe deux grandes familles de polluants : Les polluants chimiques (organiques et inorganiques) et les polluants biologiques.

- **Les polluants chimiques** : Depuis que la composition de l'air intérieur fait l'objet d'études approfondies, on réalise l'importance de la pollution par les Composés Organiques Volatils (COV). Un chiffre très représentatif est celui du formaldéhyde, polluant détecté dans la totalité des logements français : sa concentration est multipliée par 10 dès que l'on entre dans un bâtiment (étude réalisée par l'OQAI).

Les autres polluants chimiques sont des molécules inorganiques telles que le monoxyde de carbone et les oxydes d'azote comme le monoxyde d'azote NO (qui peut très vite remplir la cuisine si l'on utilise des plaques de cuisson au gaz ou un chauffe-eau au gaz).

Vecteur de pollution Citons également le Radon, un gaz radioactif surtout présent dans des régions granitiques, volcaniques et uranifères telles que la Bretagne, le Massif Central, les Vosges et la Corse, et qui est dû à la radioactivité naturelle de certaines roches, voire même du béton des bâtiments. Il n'existe pour l'instant aucun procédé pour éliminer ce gaz toxique, et la seule chose à faire est d'ouvrir les fenêtres... Notons qu'à côté des COV, la matière particulaire est aussi à prendre en considération car elle peut être un important chimique.

- Les polluants biologiques :** Il existe par ailleurs des polluants biologiques (Virus, Bactéries, Moisissures ou encore des Acariens et Allergènes) que l'on détecte régulièrement dans les maisons, les hôpitaux ou encore les aérosols. Une étude réalisée par le CDC d'Atlanta (Center for Disease Control and Prevention) a consisté à mesurer pendant une année les occurrences de maladies nosocomiales contractées dans des hôpitaux, par suite de la présence de ces polluants biologiques.

Arrive en tête la grippe, avec deux millions de cas, devant la rougeole. Outre les maladies infectieuses, on relève des cas d'allergies dus aux excréments d'acariens ou à la présence d'animaux.

UN PEU DE SCIENCES

Oxymore : Une Efficacité Prouvée

En 2016, nous avons collaboré avec l'Université de Pau afin d'évaluer les performances de nos purificateurs pour l'élimination de COV. Les tests, effectués en chambre étanche, ont été réalisés avec nos purificateurs FUJI et YELLOWSTONE. L'étude a mis les épurateurs face à différents types de COV, représentatifs dans l'air, mais aussi sans COV pour vérifier que les systèmes ne rejettent pas de polluants.

Suite à cette analyse, il a été démontré que les deux machines ont une activité Photocatalytique significative. Leur efficacité a été vérifiée selon la norme AFNOR **XP-B44-013** : « Photocatalyse – Méthode d'essais et d'analyses pour la mesure d'efficacité de systèmes photocatalytiques pour l'élimination des composés organiques volatils (COV) et odeurs dans l'air intérieur en recirculation »

- TEST SANS COV :** aucun des deux purificateurs n'émet de polluants
- TEST AVEC 4 COV :** minéralisation complète et élimination des COV à 99% en 2 à 6 heures
- TEST AVEC 5 COV :** aucune formation de sous-produit intermédiaire et élimination de 95% des COV en 3 heures

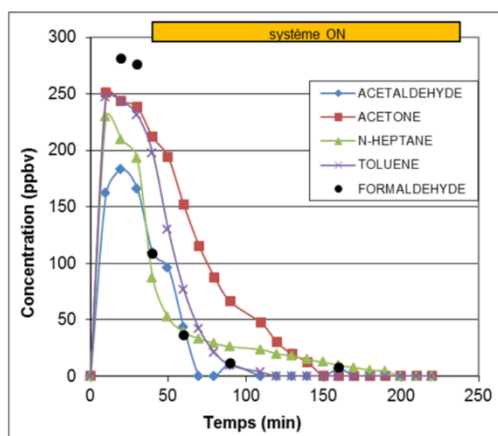


Fig. 14 : Suivi des COV pour le test 3 (250 ppbv) avec Sani Cube

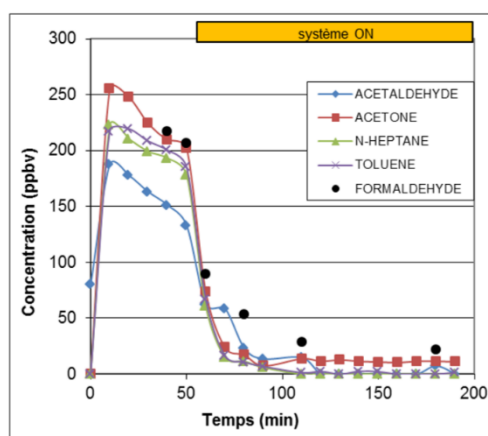


Fig. 29 : Suivi des COV pour le test 3 (250 ppbv) avec Sani Plus

Les nouvelles versions de nos produits seront soumises aux nouvelles normes Françaises et Européennes au fur et à mesure de leur évolution.

LÉGISLATION ET NORMES

Règlementation Actuelle Et À Venir

AUJOURD'HUI

- Norme Européenne actuelle **NF EN 16846-1** : « Photocatalyse – Mesure de l'efficacité des dispositifs photocatalytiques servant à l'élimination, en mode actif, des COV et des odeurs dans l'air intérieur – Partie 1 : méthode d'essai en enceinte confinée ».
 - Basée sur la norme expérimentale AFNOR **XP-B44-013** : « Photocatalyse – Méthode d'essais et d'analyses pour la mesure d'efficacité de systèmes photocatalytiques pour l'élimination des composés organiques volatils (COV) et odeurs dans l'air intérieur en recirculation »
- Spécification technique **CEN/TS 16980-1** « Méthodes d'essai en flux continu - Partie 1 : Mesure de la dégradation du monoxyde d'azote (NO) dans l'air par un matériau Photocatalytique », qui en France a remplacé la **XP B44-011** : « Photocatalyse - Méthode d'essai pour l'évaluation des matériaux photocatalytiques vis-à-vis de la dégradation des NOx - Méthode à un seul passage en mode tangentiel »

À VENIR :

- **Projet de norme basé sur le projet ETAPE de l'ADEME** (évaluation de l'innocuité des systèmes de traitement de l'air par Photocatalyse) → essais en grande enceinte → future partie 2 de la norme **NF EN 16846-1**
- **Valeurs guides de qualité d'air intérieur (VGAI)** proposées par l'ANSES est une base pour de futures valeurs réglementaires de surveillance de qualité de l'air intérieur.
- **Plan National Santé – Environnement 3 / Grenelle Environnement II** : Le Plan National Santé – Environnement 3, inscrit dans le Grenelle Environnement II, comprend un plan d'actions sur la qualité de l'air intérieur. Ce dernier prévoit des actions afin d'améliorer la qualité de l'air dans les espaces clos, dont l'obligation de mettre en place la surveillance de la qualité de l'air dans tous les Établissements Recevant du Public à partir de 2023 :
 - **1^{er} Janvier 2018** : établissements d'accueil collectif d'enfants de moins de 6 ans (crèches), écoles maternelles et écoles élémentaires.
 - **1^{er} Janvier 2020** : centres de loisirs, établissements d'enseignement ou de formation professionnelle du 2nd degré (collèges, lycées...)
 - **1^{er} Janvier 2023** : autres établissements (infrastructures sociales et médico-sociales, hôpitaux, piscine...)

Le Plan inclut également :

- La sensibilisation du grand public et des professionnels à la problématique de la qualité de l'air
- La mobilisation des professionnels de la filière bâtiments concernant la qualité de l'aération-ventilation installée
- L'amélioration des connaissances notamment sur l'exposition aux moisissures (enjeu fort de santé publique dû à leurs effets avérés sur la santé respiratoire)

DEVELOPPEMENT DE LA TECHNOLOGIE DE PHOTOCATALYSE

L'Histoire d'Oxymore

Comme toute invention, le développement de notre technologie de Photocatalyse est parti d'une problématique :

Comment purifier l'air, efficacement, en continu et sans risque pour l'homme ?

Nous avons trouvé la solution il y a plus de 12 ans. Depuis nous avons étendu nos connaissances et nous sommes maintenant une équipe d'experts techniques spécialisés dans la purification, l'analyse, le traitement et les technologies de destruction des polluants présents dans l'air. En combinant nos savoir-faire et nos différentes technologies brevetées, nous sommes naturellement devenus les leaders technologiques de l'innovation dans le secteur de la purification de l'air. Actuellement, nos protocoles de sanitation innovant, combinant nos technologies, sont en passe de révolutionner les usages actuels.

CHRONOLOGIE DU DEVELOPPEMENT :

- 2007 :** Philippe Roux adapte la technologie Photocatalyse à la purification et potabilisation de l'eau, puis vérifie son efficacité pour la purification de l'air. Dépôt de brevet sur la perte de charge liée aux filtres Photocatalytiques.
- 2010 :** Hugo Delcourt fonde IDR environnement afin de donner une dimension internationale aux brevets développés par Ph. Roux. Ils collaborent depuis à la conception et fabrication de nouvelles gammes de produits et de technologies. Ils développent également la recherche sur l'aromathérapie, l'odorat, l'olfactif, le comportement Humain, le Marketing Olfactif et la purification de l'air, la destruction des polluants, des COV, etc...
- 2011 :** Lancement du filtre Photocatalyse P51 pour grands volumes, adaptable sur les systèmes de ventilation conventionnels à la place des filtres charbon actif.
- 2012 :** Lancement de notre premier filtre purificateur d'air auto-régénérant pour les moyens volumes et les milieux à l'hygiène exigeante : le Lux 55
- 2013 :** Collaboration entre Pierrade® et IDR pour créer une table Pierrade® intégrant un système Photocatalyse de traitement instantané des rejets de cuisson (fumées, odeurs, etc).
- 2014 :** Développement de la machine de Photocatalyse NPH 1500 associant les technologies de Photocatalyse et de nébulisation pour purifier et désinfecter simultanément l'air et les surfaces. Cette innovation dédiée au milieu médical a remporté le concours ARTINOV 2014 de la chambre des métiers et de l'artisanat de l'Ain dans la catégorie Innovation technologique.
- 2015 :** Dépôt de brevet et développement du sèche-mains AIR 3.1 intégrant les technologies de nébulisation (pour parfumer ou désinfecter la pièce) et de Photocatalyse (pour souffler un air pur sur les mains à chaque utilisation).
- 2016 :** Lancement du purificateur d'air FUJI pour petits volumes et grand public. Lancement du purificateur d'air YELLOWSTONE pour les interventions et milieux difficiles.

- 2017 :** Lancement du purificateur d'air HIMALAYA, plus de puissance de purification pour les plus grands volumes.
R&D du testeur de qualité d'air SCANAIR.
- 2018 :** Rebranding total de la collection et création d'OXYMORE. Développement de la technologie de Génération d'ozone RETRO.
- 2019 :** Lancement du purificateur d'air RETRO STORM, pour la décontamination de l'air et des surfaces. Création de la collection RETRO.
Développement du software et de l'environnement réseau du testeur de qualité d'air SCANAIR.
- 2020 :** Lancement du purificateur d'air ultime, OXYMORE HURRICANE permettant d'appliquer le protocole complet de décontamination de l'air et des surfaces.
Phase finale de test de l'analyseur de qualité d'air SCANAIR.
Développement de nombreux produits OXYMORE et RETRO

POUR ALLER PLUS LOIN

LA LUMIÈRE POUR AMÉLIORER LA QUALITÉ DE L'AIR

Avantages de la Photocatalyse pour le traitement de l'air

Nous subissons directement, plus que nous ne choisissons, l'air que nous respirons.

Le « droit reconnu à chacun de respirer un air qui ne nuise pas à sa santé », mis en avant dans la loi sur l'air de décembre 1996, est admis dans notre société moderne où des analyses de qualité de l'air (air intérieur, effluents industriels, atmosphères des zones urbaines...) sont courantes et où des dispositifs permettant de l'améliorer sont progressivement mis en place. Des solutions techniques pour limiter les concentrations en polluants et autres composés organiques volatils (COV) existent, le plus souvent basées sur l'adsorption. Cependant, les méthodes utilisant la lumière, et plus particulièrement la Photocatalyse, font partie des technologies émergentes.

La Photocatalyse s'est développée initialement pour le traitement d'effluents aqueux et ses applications pour le traitement de l'air sont plus récentes (année 1994). La plupart des brevets dans ce domaine sont d'origine japonaise (80 %), bien que les brevets coréens et chinois soient en progression depuis 2001 (10 %). Le marché est émergent en Europe et aux États-Unis, en particulier pour l'air intérieur, même si le nombre de brevets européens reste très limité.

La Photocatalyse présente plusieurs avantages par rapport aux procédés plus classiques : c'est un procédé destructif et un grand nombre de polluants peuvent être minéralisés à température et pression ambiantes, l'activation étant fournie par la lumière, le plus souvent dans le domaine des UV-A, les moins énergétiques (320-400 nm).

La minéralisation de nombreuses molécules telles que les alcanes, les oléfines, les aromatiques, les alcools et aldéhydes aliphatiques, l'acétone, l'acide isobutyrique, la pyridine, la nitroglycérine, le méthanethiol, le trichloréthylène... a été observée en laboratoire. Pour une liste plus exhaustive des travaux sur ce sujet, le lecteur peut consulter le site web du National Renewable Energy Laboratory (Colorado) qui a publié jusqu'en 2001 une liste exhaustive des molécules oxydées par photocatalyse, ainsi qu'un exemple de mécanisme réactionnel.

Les mécanismes sont moins bien connus qu’en solution. Très souvent, le radical hydroxyle HO•, très oxydant et peu sélectif, est supposé se former à partir d’eau adsorbée sur le photocatalyseur, et est proposé pour expliquer les produits finals d’oxydation. Cependant, notamment en l’absence d’eau dans l’effluent, la réaction directe du polluant adsorbé P avec la lacune électronique photogénérée ne peut être exclue, en particulier dans le cas des alcools, des aldéhydes, des amines, des sulfures et des produits aromatiques (voir début de l’article). Parallèlement à la formation du radical-cation P•+ de la molécule adsorbée, la réaction de transfert d’électron entre le photocatalyseur et l’oxygène conduit à la formation du radical anion superoxyde O₂•-. Le plus souvent, l’addition du radical anion superoxyde sur le radical cation est suivie de réactions complexes, de type radicalaire (voir l’exemple de la figure 13).

La mise en œuvre du procédé photocatalytique est simple et économique et les coûts d’exploitation sont inférieurs aux traitements traditionnels pour des effluents à débits et concentrations en polluant faibles, domaine privilégié de la Photocatalyse (figure 14).

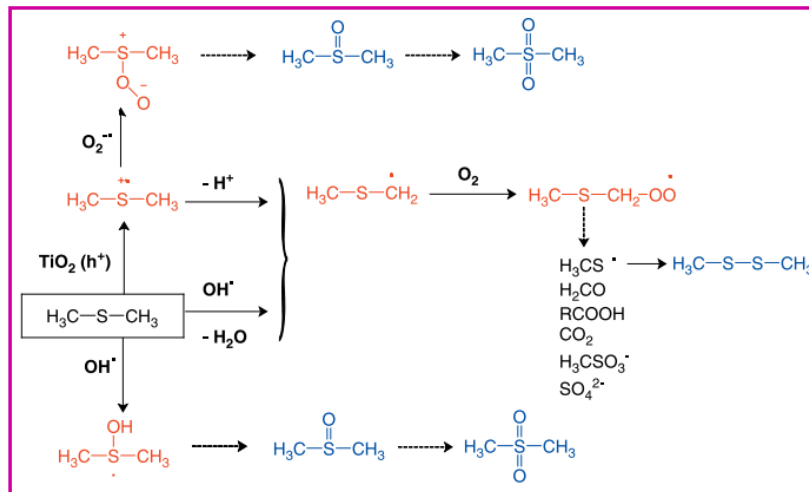


Figure 13 - Exemple de schéma réactionnel proposé pour la réaction du diméthyle sulfure sur TiO₂. En rouge, intermédiaires non détectés ; en bleu, intermédiaires détectés.

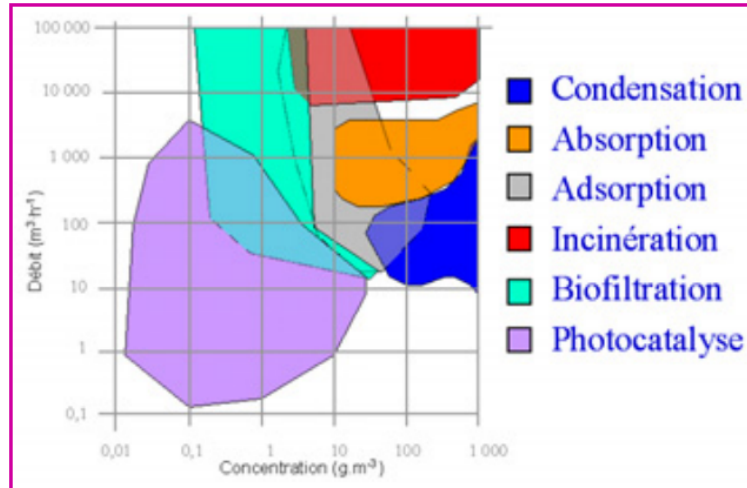


Figure 14 - Place de la photocatalyse par rapport aux techniques traditionnelles de purification de l'air.

Comme on l'a vu plus haut, l'oxydation par Photocatalyse d'un grand nombre de molécules dans les effluents gazeux a été étudiée. Dans la plupart des cas, le photocatalyseur est constitué de dioxyde de titane fixé sur différents supports. L'objectif recherché est la minéralisation, mais celle-ci n'est pas immédiate et certains intermédiaires toxiques ou nauséabonds peuvent se former et s'accumuler en cours de traitement, ce qui représente l'un des inconvénients majeurs du procédé pour le traitement de l'air. Pour qu'un dispositif photocatalytique fonctionne correctement, il faut donc s'assurer :

- Qu'il soit correctement dimensionné par rapport au débit et aux concentrations à traiter,
- Que les polluants visés soient minéralisés avec des temps de séjour raisonnables sur le photocatalyseur sans formation d'intermédiaires toxiques,
- Que la durée d'activité du matériau photocatalytique dans les conditions utilisées soit connue ; il faut tenir compte en effet de l'empoisonnement progressif de la surface par les produits oxydés minéraux.

L'exemple des composés soufrés réduits

Les composés soufrés réduits tels que le sulfure d'hydrogène (H_2S), le méthane-thiol (CH_3SH), le diméthyle sulfure (CH_3SCH_3) et le diméthyle disulfure (CH_3SSCH_3) sont des composés toxiques et nauséabonds, souvent associés aux technologies de production d'énergie, aux bassins de décantation, aux usines de pâte à papier Kraft... et présentent des seuils de détection olfactive très bas.

L'étude de leur abattement par Photocatalyse est assez récente et permet de distinguer quelques paramètres influents tels que le type de réacteur (« batch » ou continu), le débit de l'effluent et donc le temps de séjour du polluant sur le photocatalyseur, la concentration initiale en polluant, l'humidité relative, l'intensité lumineuse et le type de photocatalyseur (pour une revue, voir). Même si les résultats ne sont pas toujours comparables entre les différents auteurs, quelques conclusions s'imposent.

Les composés les plus étudiés de cette famille, les alkylsulfures (RSR), sont partiellement minéralisés, et un certain nombre de sous-produits (disulfure, trisulfure, aldéhyde, alcool, sulfoxyde, sulfone...) ont été identifiés lors de la réaction photocatalytique, à la fois dans l'effluent gazeux ou adsorbés à la surface du matériau. En général, le photocatalyseur se désactive au bout d'un certain temps, du fait de l'adsorption de sulfates, et la vitesse de

désactivation dépend de l'humidité relative (RH), de la charge en catalyseur, de la concentration en sulfure et du temps de résidence. A faible humidité relative, la formation de disulfure est favorisée. Il est possible de réactiver le catalyseur, même si une certaine désactivation du matériau persiste. Un résultat prometteur sur l'efficacité d'un dioxyde de titane dopé avec du soufre mérite d'être souligné : malgré une vitesse de minéralisation plus lente qu'en UV, sous irradiation dans le visible, un abattement du diméthyle sulfure de l'ordre de 99 % a été rapporté. Le disulfure est ici le seul intermédiaire détecté. Ce résultat entraîne une utilisation optimisée de la lumière solaire.

La désinfection de l'air par Photocatalyse

Parallèlement à l'abattement des odeurs et des toxiques chimiques, l'application de la Photocatalyse au domaine des micro-organismes a revêtu une ampleur croissante dans la dernière décennie. Comme pour les odeurs et COV, l'effet bactéricide des suspensions de TiO₂ a d'abord été étudié en solution aqueuse. Cependant, l'impact évident de la problématique de désinfection de l'air sur la santé publique a créé une émulation importante dans le monde, en premier lieu en Asie (Chine, Corée, Japon), encore accrue par l'émergence ces dernières années des cas de légionellose, des risques médiatisés liés au bacille du charbon (communément appelé Anthrax), et par la récente crise mondiale liée au virus du SRAS ou aux risques de grippe aviaire.

A l'heure actuelle, la plupart des solutions de désinfection des flux d'air (procédés de filtration, traitements thermiques, désinfection chimique...) sont relativement coûteuses et/ou complexes à mettre en œuvre, et de plus leur efficacité n'est pas toujours satisfaisante. Une approche différente consiste à n'utiliser que des UV-A pour la désinfection de l'air. En effet, les virus et bactéries sont constitués de molécules organiques assemblées en structures plus ou moins complexes qui, comme les toxiques, odeurs et autres COV, sont susceptibles d'être dégradés par Photocatalyse. Cependant, des différences marquées demeurent, telles que la taille des agents biologiques, schématiquement submicronique pour les virus et micronique pour les bactéries, champignons et spores, donc nettement supérieure à celle nanométrique des molécules chimiques classiques. L'un des attraits essentiels de la Photocatalyse dans cette problématique est sa non sélectivité, liée à la formation des radicaux hydroxyle HO•, vis-à-vis de la matière organique à la base même de la constitution des micro-organismes.

Avec *Escherichia coli*, *Legionella pneumophila*, *Bacillus subtilis* et le virus bactériophage T2 comme microorganismes modèles, on peut concevoir et dimensionner des dispositifs de désinfection de l'air exclusivement par UV-A, depuis l'échelle du laboratoire (pour des débits d'air depuis quelques L.min⁻¹ sur du TiO₂ P25 commercial), en passant par un prototype semi-industriel (pour des débits de quelques dizaines de m³.h⁻¹). L'efficacité est supérieure à 94 % en mode continu et à 99,9 % en mode recirculation, jusqu'à des appareils travaillant à quelques centaines, voire quelques milliers de m³.h⁻¹ [52]. Des méthodes associant des rayonnements UV-C plus énergétiques que les UV-A et le photocatalyseur TiO₂ déposé sur support sont également en développement. Les avantages de cette association sont multiples :

- Une attaque directe de l'ADN des bactéries par les UV-C se produit,
- Le photocatalyseur absorbe une quantité de lumière plus importante, générant ainsi plus d'espèces actives,
- Les toxines et COV générés lors du traitement (par UV-A aussi bien que par UV-C) sont détruits à leur tour.