



La photocatalyse des eaux usées par électrochimie

FEDAILAINE Maamar
 Maître de recherche B
 Division Bioénergie et Environnement - CDER
 E-mail: m.fedailaine@cder.dz

L'impact de la révolution industrielle sur l'environnement s'est traduit par la pollution de l'air, de l'eau et du sol. Ces pollutions entraînent des modifications sur les écosystèmes dont les conséquences sont : La déforestation et la fragilisation des ressources naturelles entraînant une diminution en eaux consommables ce qui se répercute sur la demande alimentaire.

L'eau est l'origine de la vie sur la terre, mais 97% de cette ressource se trouve sous forme d'eaux salées dans les océans et les mers, 2,15% est piégée dans les glaces et seulement 0,65% reste dans les nappes souterraines et phréatiques. Cette petite quantité d'eau consommable doit être protégée contre les pollutions industrielles.

La pollution de l'eau a pour origine : les activités agricoles, urbaines et surtout industrielles (figure 1). Par exemple les usines industrielles de fabrication de batteries ou de piles ont été à plusieurs reprises à l'origine de la contamination des eaux des nappes souterraines et des contaminations des sols. Parfois, les eaux déversées après traitement dépassent aussi bien les normes de rejets Algériennes que celles des normes de l'organisation mondiale de la santé (World Health Organisation).

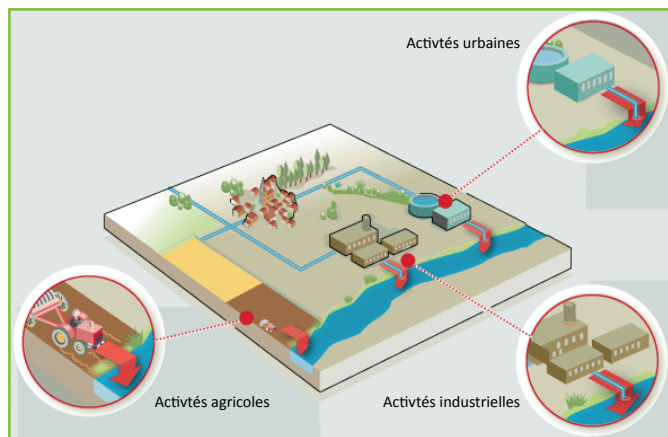


Figure 1: La pollution de l'eau

Les traitements classiques appliqués sont nombreux : osmose inverse, résine échangeuse d'ion, adsorption sans réaction chimique, électro-réduction, adsorption et dégradation biologique. Le traitement idéal, s'il existe, serait celui qui consomme le moins de produits chimiques, le moins d'énergie et qui ne rejeterait rien de nocif dans l'environnement. Dans ce cadre de contraintes, la photocatalyse bénéficie de nombreux atouts (figure 2) : elle ne nécessite pas de coproduits, nécessite peu d'énergie et minimise les rejets secondaires car c'est un procédé de réduction des métaux ou de dégradation des produits organiques permettant d'obtenir une excellente eau pure.

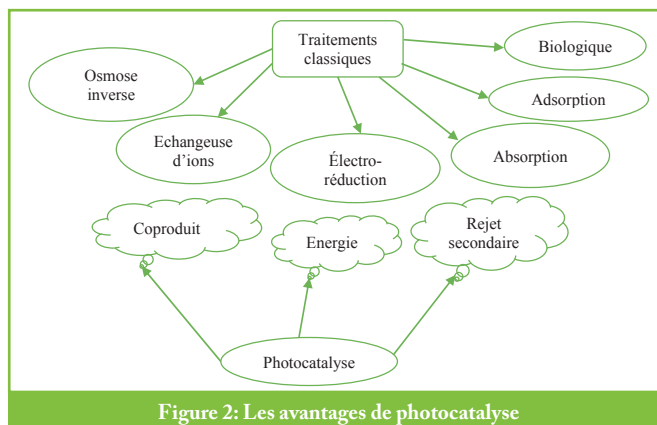


Figure 2: Les avantages de photocatalyse

La photocatalyse implique la photoexcitation d'un semi-conducteur par absorption de la lumière et la réaction avec une molécule en phase adsorbée.

D'après la figure 3 s'il est soumis à un rayonnement de photons d'énergie au moins égale à celle de la bande interdite ($h\nu \geq E_g$), un électron peut passer de la bande de valence (VB) à une orbitale vacante de la bande de conduction (CB). Il y a alors création d'un trou positif (h^+) au niveau de la bande de valence et libération d'un électron (e^-) dans la bande de conduction. Les électrons et les trous positifs peuvent se recombiner entre eux au sein du cristal, soit migrer et se recombiner à la surface, ou bien migrer séparément jusqu'à celle-ci. Les charges créées peuvent réagir avec des substances adsorbées susceptibles d'accepter ou de donner des électrons. Ainsi, les électrons pourront réduire un accepteur A (adsorption) et les trous positifs pourront oxyder un donneur D (adsorption). Ce sont ces réactions d'oxydation ou de réduction qui sont intéressantes pour la dépollution en photocatalyse.

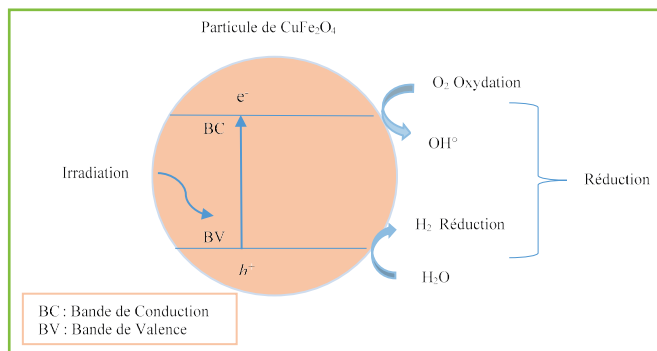


Figure 3: Schéma présentant le principe de la photocatalyse

Le catalyseur est partagé avec deux catégories homogènes et hétérogènes. La plupart des chercheurs sont intéressés par le catalyseur hétérogène, dans ce dernier on trouve un catalyseur dopé et un catalyseur de système à hétérojonction (figure 4).

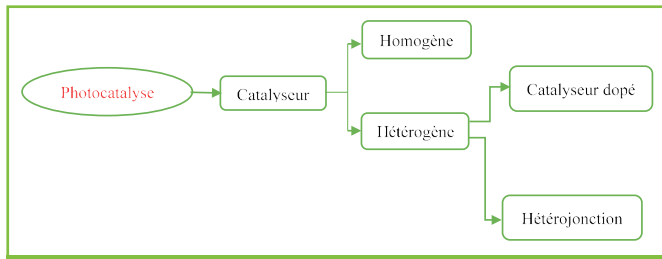


Figure 4: Les catégories de photoacatalyse

L'introduction de catalyseur dopé : Ce sont des matériaux de différents ions, utilisés pour introduire des états d'énergie intermédiaires dans la bande interdite, ce qui permet d'étendre le spectre d'absorption au spectre visible, et ainsi la modification de la surface du semi-conducteur avec des espèces luminescentes. Les semi-conducteurs possédant une grande bande interdite sont peu efficaces, par exemple (n -TiO₂ dopé par Al, Ni, Zn, V, Cr...etc). Ceci est dû à une absorption très limitée dans le spectre solaire qui se cantonne entre l'UV (Ultra-Violet) et l'IR (Infra rouge).

Par définition le système à hétérojonction est défini par l'utilisation de deux semi-conducteurs en jonction avec des bandes de conduction et de valence à des niveaux d'énergie différents et une bonne configuration d'électrode pour permettre d'une part d'améliorer la séparation des paires (e^-/t^+), et d'autre part augmenter le temps de vie des porteurs de charges pour accroître l'efficacité du transfert de charges interfaciales vers le substrat adsorbé. Pour un transfert d'électrons efficace entre deux semi-conducteurs, la bande de conduction du semi-conducteur à large bande interdite doit être plus anodique que celle du semi-conducteur à bande interdite réduite. Les électrons générés dans la bande de conduction du p -SC (exemple p -CuFe₂O₄) sont injectés dans la bande de conduction du n -SC (exemple n -TiO₂) (Figure 5). Inversement, les trous générés dans la bande de valence du p -SC sont transférés vers l'oxydant présent en solution. L'ensemble du mécanisme de transfert de charges se comporte comme une photodiode électrochimique.

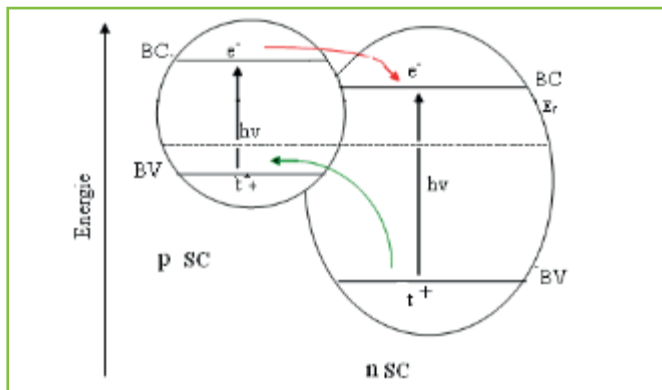


Figure 5: Diagramme énergétique illustrant le transfert de charge entre deux semi-conducteurs en jonction sous lumière visible

A cet égard, la photocatalyse a prouvé son efficacité dans la production d'énergie renouvelable et représente un axe de recherche pertinent pour la protection de l'environnement. L'énergie solaire représente une énorme et inépuisable ressource énergétique avec une constante solaire moyenne de 1200 W.m⁻² sur les zones côtières Algériennes. Plusieurs oxydes sont utilisés dans la photocatalyse.

Le SnO₂, le TiO₂ et le ZnO sont chimiquement stables avec une bande interdite (gap) (Eg) supérieure à 3 eV, ces catalyseurs (oxydes) permettent d'éliminer les rejets organiques. Ces catalyseurs sont

techniquement peu intéressant pour l'exploitation du spectre solaire qui contient seulement ~ 5% de la lumière UV. Par conséquent, la recherche active et s'oriente vers d'autres familles comme les delafossites (CuFeO₂, CuMnO₂, CrCuO₂...etc) et les spinelles (CuFe₂O₄, MgFe₂O₄, NiFe₂O₄...etc), néanmoins, il n'y pas eu de travaux systématiques déjà réalisés dans l'élimination des métaux. La photocatalyse est prometteuse dans le domaine de la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable, pour la conversion de l'énergie solaire et la lutte contre les changements climatiques.

De nombreuses études menées au laboratoire, ont montré que cette technique pouvait être utilisée pour la dégradation des produits organiques et la réduction des métaux lourds. Les applications photocatalytiques pour la dépollution de l'eau sont déjà arrivées au stade pilote. Plusieurs stations solaires sont actuellement en fonctionnement, de part le monde. L'utilisation de la lumière solaire en photocatalyse a fait l'objet d'études importantes. Les travaux à la plate-forme solaire d'Almeria, située dans le sud de l'Espagne, ont montré l'efficacité de l'énergie solaire pour dégrader ou réduire un grand nombre de polluants des eaux. Des projets comme «Solwater» ont été réalisés dans le cadre d'une coopération entre l'Afrique du nord et l'Europe, pour la potabilité des eaux de surface (Figure 6). C'est une bonne alternative pour les zones à fort ensoleillement. Le but est de mettre en place un procédé simple et économique pour aider les populations à faibles ressources (1).

En conclusion la photocatalyse est prometteuse dans le domaine de la protection de l'environnement, dans le cadre du développement durable, pour la conversion de l'énergie solaire et la lutte contre les changements climatiques. La photocatalyse appliquée au traitement de l'eau usée a fait l'objet de nombreuses recherches. Bien que la faisabilité du traitement de polluants ait déjà été démontrée, de nombreuses questions subsistent concernant la conception des réacteurs, la modélisation, la synthèse des catalyseurs et les éléments réduits et produits.



Figure 6: Photocatalyseur pilote solaire autonome (Projets Solwater) (2)

Références

1. Atheba. G. P, traitement des eaux par action combinée de la photocatalyse solaire et de l'adsorption sur charbon actif : conception et réalisation du procédé, Docteur en Chimie, Université de Metz, 2009.
2. Lacombe. S, Tran. Hi. T. h, Guillard. C, Hermann. J. M, Kellerspitzer. V, Keller. N, Maurette. M. T, Pichat. P, Pigot. T, Pulgarin. C, Rincon. A. G, Robert. D, La photocatalyse pour l'élimination des polluants, L'actualité Chimique, 308-309, 2-16, 2007.