



Utilisation des Ultraviolets de la lumière pour le traitement d'un polluant organique dans l'eau

R. Djouder^{#*1}, A.N. Laoufi.^{*2}, F. Bentahar^{*3}

#centre de développement des énergies renouvelables CDER, BP 62, Route de l'Observatoire, Bouzareah 16340 Alger, Algérie

¹radia_djouder@yahoo.fr

*Laboratoire des Phénomènes de Transfert, Faculté de génie mécanique et de génie des procédés, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumédiène, Bp 32, El Alia, Bab Ezzouar, 16111 Alger, Algérie

²nadialaoufi@yahoo.fr

³fatihabentahar@yahoo.fr

Abstract— Les procédés d'oxydation avancée (POA) sont basés sur la destruction chimique de la matière organique non biodégradable quelque soit le système utilisé (Procédé électron fenton, procédé de la photocatalyse hétérogène...etc.). Ces procédés mettent en jeu des oxydants puissants (eau oxygénée, ozone), des catalyseurs (fer ferreux, oxyde de zinc, dioxyde de titane) et des radiations (UV ou visible). Dans cette étude, la photocatalyse hétérogène a été appliquée pour la dégradation de l'acide salicylique dissous dans l'eau. Afin de montrer l'efficacité de ce système, nous avons étudié l'influence de divers paramètres sur la vitesse de dégradation de l'acide salicylique (position et puissance de la source lumineuse). Les résultats obtenus ont montré qu'avec une position de 19 cm de la source lumineuse par rapport au lit catalytique, le taux de dégradation de l'acide salicylique est de 68% après 6 heures d'irradiation. L'utilisation d'une puissance de 400 watts a permis la dégradation de 96% du polluant. Nous avons constaté que la réaction de photodégradation de l'acide salicylique suit une cinétique de pseudo premier ordre

Keywords— traitement de l'eau par énergie solaire, photocatalyse, traitement de polluants organiques, dioxyde de titane.

I. NOMENCLATURE

C : concentration en acide salicylique dans la solution à l'instant t (mM) ;

C₀ : concentration initiale en acide salicylique (mM) ;

K : constante d'adsorption (L.mmol⁻¹) ;

k_{app} : constante de vitesse apparente (min⁻¹) ;

k_r : constante de vitesse réelle de dégradation (mM.min⁻¹) ;

r : vitesse de la réaction (mol.min⁻¹) ;

t : temps d'irradiation UV (min).

II. INTRODUCTION

Un grand nombre de déchets ou de produits indésirables issus de l'activité humaine peuvent être détruits (ou minéralisés) grâce à la photocatalyse qui présente une technologie émergente utilisant des matériaux peu onéreux, largement disponibles naturellement comme le soleil. La

photocatalyse hétérogène est un exemple de catalyse hétérogène, induite par l'irradiation de matériaux semi-conducteurs (WO₃, TiO₂, ZnO, etc.), avec des photons d'énergie adaptée au solide. Elle permet l'oxydation rapide jusqu'à minéralisation complète, de nombreux composés organiques, azotés, chlorés, en contact avec le catalyseur [1], [2]. La photocatalyse est un phénomène naturel, combinée à l'utilisation d'énergie solaire ce procédé de traitement de l'eau est en parfait accord avec le principe de développement durable.

Les réactions photocatalytiques font intervenir un ou plusieurs composés chimiques, un photocatalyseur et un flux de photons. Par conséquent, la concentration en réactif, en catalyseur et le flux lumineux sont des facteurs, dont l'influence sur la cinétique des réactions photocatalytiques ont fait l'objet de nombreuses études [3], [4].

Deux configurations basiques d'utilisation du dioxyde de titane sont le catalyseur mis en suspension (réacteur « slurry ») et le catalyseur immobilisé sur support. Dans le cas des réacteurs à catalyseurs en suspension, les petites particules de catalyseur dispersées fournissent une grande aire spécifique pour la réaction. Cependant une grande partie de cette aire sera inactive, surtout pour des réacteurs de grande dimension, car la profondeur de pénétration de la lumière est souvent limitée. L'augmentation de la charge catalytique peut avoir pour effet d'obstruer le passage de la lumière. Par ailleurs l'utilisation de réacteurs slurry nécessite une étape de séparation et de recyclage du catalyseur [5]. Les réacteurs à catalyseur immobilisé permettent de s'affranchir de cette étape de séparation. Cependant leur surface spécifique est en général plus faible et des limitations de transfert de matière de la solution vers le catalyseur peuvent ralentir le processus réactionnel. Divers procédés permettent de préparer et de fixer le catalyseur TiO₂ sur un support. Le procédé le plus courant consiste à immerger le support plusieurs fois dans une suspension aqueuse de TiO₂. Un film de TiO₂ se dépose au fur et à mesure des imprégnations successives. L'adhésion du



catayseur sur le support est assurée par une étape de calcination aux alentours de 500°C [6].

III. PRINCIPE DE LA PHOTOCATALYSE

La photocatalyse hétérogène est fondée sur l'absorption, par un semi-conducteur, de photons d'énergie égale ou supérieure à la largeur de la bande interdite (E_c-E_v), permettent de faire passer des électrons de la bande de valence (E_v), à la bande de conduction (E_c). Des lacunes électroniques, communément appelées trous (ou « holes », h^+) sont ainsi générées dans la bande de valence, et un système oxydo-réducteur est créé. Si leur durée de vie le permet, les électrons peuvent être transférés à des accepteurs d'électron, tandis que les trous peuvent être comblés par des donneurs d'électron. Si les espèces chimiques qui en résultent, réagissent avant que les transferts électroniques inverses aient lieu, des transformations chimiques dites photocatalytiques peuvent ainsi être engendrées.

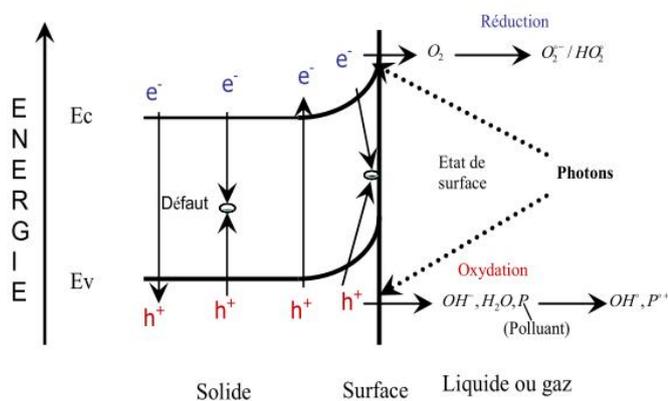


Fig.1. Schéma montrant les bandes d'un oxyde semi-conducteur tel que le TiO_2 . Sous excitation photonique, les transferts d'électrons ont lieu entre les bandes, suivis de transferts de charges (e^- ou h^+) aux groupes superficiels et aux espèces adsorbées ou déposées.

IV. INSTALLATION EXPERIMENTAL

Le réacteur est constitué d'une cuve dans laquelle s'imbrique de façon parfaite une plaque en verre ordinaire sur laquelle ont été déposées plusieurs couches de dioxyde de titane (TiO_2) selon un protocole bien précis. La source lumineuse utilisée est une lampe UV ayant une puissance de 18 W. La cuve est reliée à un réservoir contenant le mélange réactionnel par l'intermédiaire d'une pompe péristaltique assurant la circulation du fluide en circuit fermé.

V. RESULTATS ET DISCUSSION

A. Effet de la position de la source lumineuse

Afin de déterminer la position adéquate de la source lumineuse, permettant une irradiation maximale de la plaque

supportant le catalyseur, nous avons effectué une série d'expériences à des distances comprises entre 10 et 27 cm.

Les résultats expérimentaux représentés sur la Fig. 2 montrent que quelque soit la distance utilisée, l'acide salicylique est dégradé par le système photocatalytique, nous remarquons que le taux de dégradation est fonction de la position de la lampe. Nous constatons que la position 19 cm donne un meilleur taux de dégradation. Au temps $t=360$ min, il atteint 68% (Fig 3). Selon la géométrie du réacteur et de la lampe, pour des hauteurs supérieures ou inférieures à 19 cm, une partie des rayons émis n'atteignent pas la surface catalytique, ce qui diminue l'efficacité du traitement. De plus, la position 19 cm paraît être la position optimale pour cette configuration.

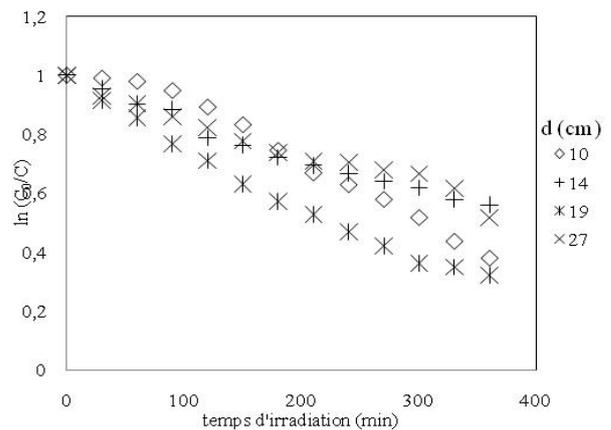


Fig 2. Evolution de la concentration réduite de l'acide salicylique en fonction du temps pour différents niveaux de lampe (puissance de la lampe 18 W, $C_0 = 7,24 \cdot 10^{-2}$ mM, $Q = 120$ mL/min, $T = 25^\circ C$).

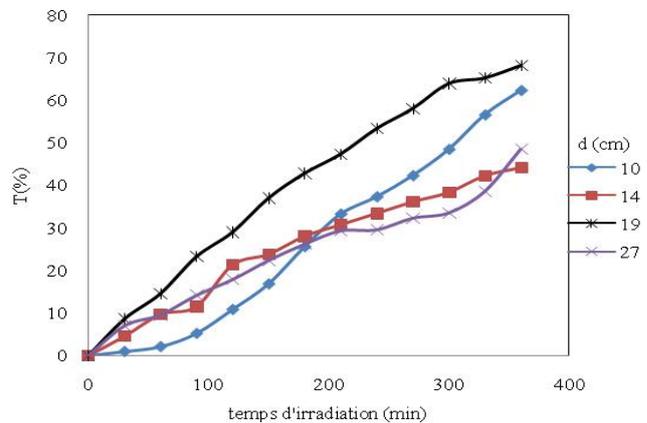


Fig 3. Taux d'élimination de l'acide salicylique en fonction du temps pour différentes position de la source lumineuse (puissance de la lampe 18 W, $C_0 = 7,24 \cdot 10^{-2}$ mM, $Q = 120$ mL/min, $T = 25^\circ C$).

B. Effet de la puissance de la source lumineuse

Deux lampes, émettant dans l'ultraviolet, de différentes



puissances ont été utilisées afin d'étudier l'influence de la puissance lumineuse sur l'efficacité de la réaction photocatalytique.

Les résultats représentés sur la figure4 montrent que la vitesse de dégradation, pour une puissance de 400 Watts, est plus importante que pour 18Watts. Nous constatons qu'au bout de 180 min et sous 400 Watts, un taux de dégradation de 96% a été obtenu. Par contre, pour 18 Watts, il n'est que de 43%.

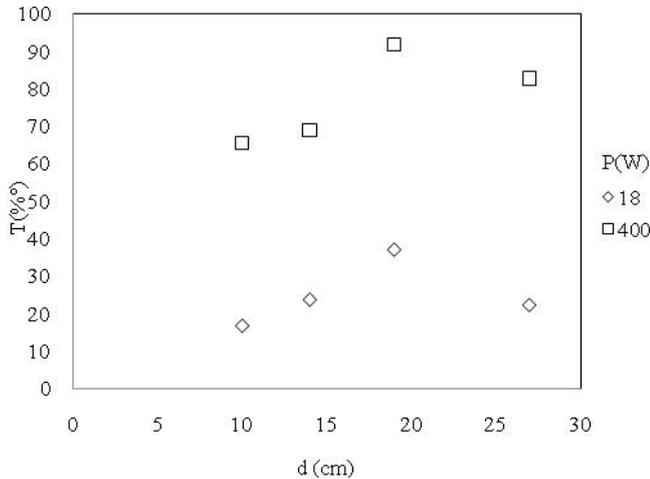


Fig 4. Evolution du taux de dégradation de l'acide salicylique en fonction de la position de la lampe pour les deux puissances de lampe ($C_0=7,24.10^{-2}$ mM $Q=120$ mL/min, $t=150$ min).

C. Etude de la cinétique de dégradation de l'acide salicylique

Généralement, le processus de la photocatalyse hétérogène suit l'expression cinétique de Langmuir-Hinshelwood représentée par (1)

$$r = \frac{-dC}{dt} = k_r \theta_x = \frac{k_r KC}{1 + KC} \quad (1)$$

L'expérience effectuée par le système TiO_2/UV sous une puissance de 18 watts et une distance de 19cm montre une dégradation d'allure exponentielle au cours du temps (figure 5), apparemment la réaction obéit à une cinétique du premier ordre. L'expression de la vitesse peut s'exprimer par l'équation réduite suivante :

$$r = -\frac{dC}{dt} = k_r KC = k_{app} C \quad (2)$$

Pour vérifier cette hypothèse nous avons tracé le logarithme de la concentration réduite, figure 6, en fonction du temps d'irradiation

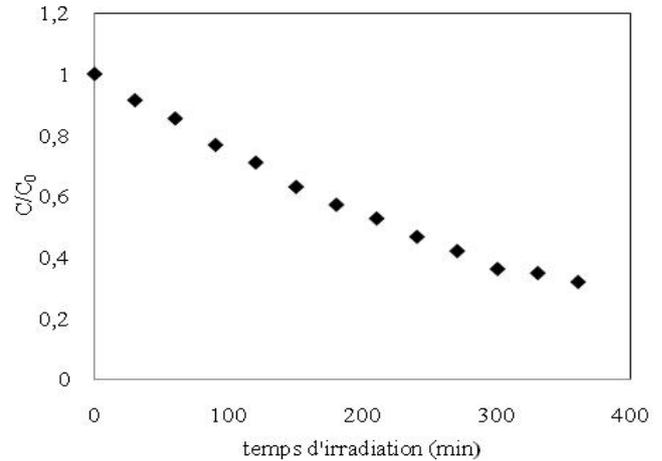


Fig 5. Evolution de la concentration réduite de l'acide salicylique en fonction du temps ($C_0=7,24.10^{-2}$ mM, puissance de la lampe 18W, $d=19$ cm)

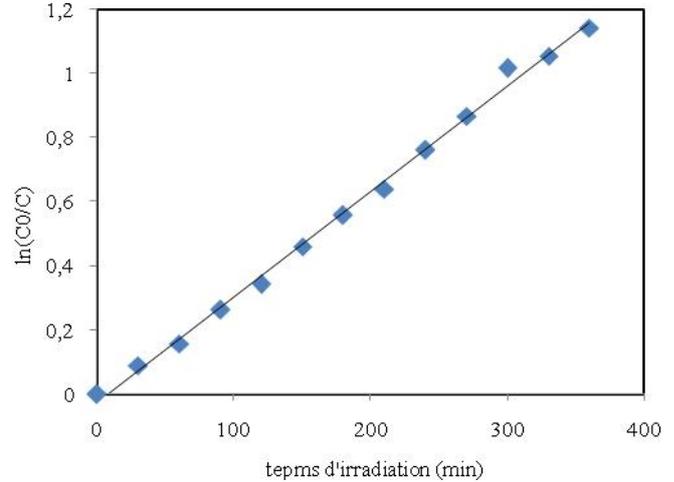


Fig 6. Evolution de $\ln(C_0/C)$ en fonction du temps de l'acide salicylique pour ($C_0=7,24.10^{-2}$ mM, puissance de la lampe 18W, $d=19$ cm)

L'observation des courbes montre que la cinétique est d'ordre un. La concentration suit de façon satisfaisante l'expression de l'équation :

$$-\ln \frac{C}{C_0} = k_{app} t \quad (3)$$

VI. CONCLUSION

La dégradation photocatalytique de l'acide salicylique dépend de la position et de la puissance de la source lumineuse. L'étude réalisée a montré l'existence d'une distance optimale de la source lumineuse qui a donné un meilleur taux de dégradation (68%). L'utilisation d'une forte puissance de la source lumineuse a permis la dégradation de 96% de l'acide salicylique.



Le 2^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

The 2nd International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,
Ghardaïa – Algérie 15, 16 et 17 Octobre 2012



La cinétique de dégradation de l'acide salicylique par le système TiO₂/UV suit l'expression de Langmuir-Hinshelwood, la vitesse de la réaction est d'ordre un dans les conditions opératoires utilisées.

REFERENCES

- [1] J. M. HERMANN, C. GUILLARD., A. AGUELLERO., A. TEJEDOR., L. PIEDRA., A. FERNANDEZ-ALBA, "Photocatalytic degradation of pesticide pirimiphos-methyl determination of the reaction pathway and identification of intermediate products by various analytical methods". *Catalysis Today*, 54, pp. 353-367, 1999.
- [2] K.I. Konstantinou, A.T. Albanis, "Photocatalytic transformation of pesticides in aqueous titanium dioxide suspension using artificial and solar light: intermediates and degradation pathways". *Applied Catalysis B: Environmental*, 42, pp. 319-335, 2003.
- [3] D. Robert, A. Piscopo, J. V. Weber, "Selective solar photodegradation of organopollutant mixtures in water". *Solar Energy*, 77, pp. 553-558, 2004.
- [4] Y. Paz, "Preferential photodegradation- why and how?" *Comptes Rendus Chimie*, 9, pp. 774-787, 2006.
- [5] M.F.J. Dijkstra, H. Buwalda, A.W.F. de Jong, A. Michorius, J.G.M. Winkelman, A.A.C.M. Beenackers, "Experimental comparison of three reactor designs for photocatalytic water purification", *Chemical engineering science*, 56, pp.547-555, 2001.
- [6] O. Zahraa, S. Maire., F. Evenou., C. Hachem., M. N. Pons., A. Alinsafi. M. Bouhcy. "Treatment of wastewater dyeing agent by photocatalytic process in solar reactor, *International Journal of photoenergy*, pp. 1-9. 2006.