



**Original Paper**

<http://ajol.info/index.php/ijbcs>

<http://indexmedicus.afro.who.int>

## Identification des photoproduits de dégradation du profénofos contenu dans les eaux de rinçage des pulvérisateurs

Moussa DIARRA<sup>1,2\*</sup>, Donafologo Baba SORO<sup>2</sup>, Roland N'guetta KOSSONOU<sup>2</sup>, Kouamé Bini DONGUI<sup>1</sup>, Ardjouma DEMBELE<sup>3</sup>, Mamadou KONE<sup>2</sup> et Sory Karim TRAORE<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire des Sciences et Technologies de l'Environnement (LSTE), Université Jean Lorougnon GUEDE, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire.

<sup>2</sup>Laboratoire des sciences de l'environnement (LSE), Université Nangui ABROGOUA, 02 B.P 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire.

<sup>3</sup>Laboratoire Central d'Agrochimie et d'Ecotoxicologie (LCAE), LANADA, 04 BP 612 Abidjan 04, Côte d'Ivoire.

\*Auteur correspondant, E-mail: [moussa\\_diarra64@yahoo.fr](mailto:moussa_diarra64@yahoo.fr); Tél : (+225) 0748648437

Received: 25-05-2022

Accepted: 21-10-2022

Published: 31-10-2022

### RESUME

Ce travail se propose une contribution au processus de photodégradation des pesticides dans l'environnement. L'étude a porté sur le profénofos issus des eaux de rinçage des pulvérisateurs et avait pour objectif d'identifier les photoproduits de sa dégradation. L'étude a concerné quatre aspects : la photolyse directe, l'influence de la source lumineuse, de la nature de l'eau et les photoproduits de dégradation. Les expériences de la photolyse ont été réalisées sous deux lampes à vapeur de mercure basse pression : l'une monochromatique à  $\lambda = 253,7$  nm et l'autre polychromatique à  $\lambda \geq 285$  nm. L'identification des photoproduits a été faite par Chromatographie liquide haute pression couplée à une spectrométrie de masse de type Agilent 5972. Les résultats ont montré que le profénofos est dégradé sous les deux lampes monochromatique et polychromatique assimilable aux irradiations solaires. Toutefois, la réaction de photolyse du profénofos a été plus lente avec la lampe polychromatique. Les résultats ont aussi montré que la cinétique de dégradation du profénofos a été plus faible dans l'eau naturelle comparativement à l'eau pure. Les résultats ont permis également de mettre en évidence la formation de six produits de dégradation P1, P2, P3, P4, P5 et P6 qui ont été identifiés.

© 2022 International Formulae Group. All rights reserved.

**Mots clés :** Profénofos, photolyse, photoproduits, eaux de rinçage.

## Identification of photoproducts of degradation of profenofos contained in sprayer rinsing waters

### ABSTRACT

This work proposes a contribution to the process of photodegradation of pesticides in the environment. The study focused on profenofos from sprayer rinsing water and aimed to identify the photoproducts of its degradation. The study concerned four aspects : direct photolysis, the influence of the light source, the nature of the water and the photoproducts of degradation. The photolysis experiments were carried out under two low-

pressure mercury vapor lamps : one monochromatic at  $\lambda = 253.7$  nm and the other polychromatic at  $\lambda \geq 285$  nm. The identification of the photoproducts was made by high pressure liquid chromatography coupled with Agilent 5972 type mass spectrometry. The results showed that profenofos is degradable under both monochromatic and polychromatic lamps comparable to solar irradiation. However, the photolysis reaction of profenofos was slower with the polychromatic lamp. The results also showed that the degradation kinetics of profenofos was lower in natural water compared to pure water. The results also made it possible to high light the formation of six degradation products P1, P2, P3, P4, P5 and P6 which were identified.

© 2022 International Formulae Group. All rights reserved.

**Keywords** : Profenofos, photolysis, photoproducts, rinsing waters.

## INTRODUCTION

Ces dernières décennies, les liens entre les activités humaines, l'environnement et la santé se sont renforcés. Le développement des sociétés a engendré un certain nombre de dégradations environnementales dont nous subissons aujourd'hui les conséquences. Ainsi, la relation de l'Homme à son espace de vie, son environnement, cherche encore son équilibre. Au nombre des activités anthropiques potentiellement polluantes, l'agriculture, grande consommatrice de produits phytosanitaires, est désignée comme principale responsable dans les problématiques de santé et d'environnement (Kouakou, 2014). Dès lors, les préoccupations en matière de pollution environnementale ne cessent de prendre de l'importance (Antoinette et al., 2016) ; et les niveaux de certains pesticides notamment les plus rémanents, sont surveillés en permanence dans l'eau (Diarra, 2013) ou dans la nourriture (Ehouman 2014 ; Diarra et al., 2020). Le présent travail a pour but d'identifier les photoproduits de la cinétique de dégradation du profenofos contenu dans les eaux de rinçage des pulvérisateurs. Il a été choisi pour cette étude une molécule présente dans plusieurs formulations de la famille de pesticides : le profenofos. C'est un acaricide de la famille des insecticides organophenylthiophosphates agissant par l'inhibition de l'acétylcholinestérase (Donafologo et al., 2014).

## MATERIEL ET METHODES

### Réactifs et solutions

Les solvants utilisés (acétonitrile, méthanol ; pureté 99%) proviennent de Merck. Les eaux utilisées pour la préparation des

solutions sont de deux types : L'eau utilisée pour la préparation des solutions destinées à l'obtention des spectres UV, a été purifiée par un système MilliQ de MILLIPORE. Elle présente une résistivité de  $18 \text{ MW.cm}^{-1}$  et une teneur en carbone organique dissous inférieure à  $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ . L'eau utilisée pour la préparation des bouillies de pesticides et le nettoyage des pulvérisateurs provient de l'eau de surface (Eau naturelle), elle est prélevée avant tout traitement de potabilisation. Elle a également été utilisée dans l'analyse de profenofos. Sa teneur moyenne en cations, en anions ainsi que le pH et la conductivité sont indiqués dans le Tableau 1.

Outre pour la préparation des bouillies du profenofos (dont les caractéristiques sont indiquées dans le Tableau 2) et le nettoyage des pulvérisateurs, cette eau a été prélevée pour la préparation des solutions destinées à l'étude cinétique et à la détermination des photoproduits. Avant son utilisation, elle a été filtrée sur un filtre millipore  $0,45 \mu\text{m}$  afin d'éliminer toute fraction non dissoute notamment les matières en suspension.

### Réacteurs photochimiques

Les photolyses ont été réalisées dans un photo-réacteur équipé d'une lampe UV (HERAEUS) de vapeur à mercure de basse pression. Le photo-réacteur utilisé (Figure 1) est en verre borosilicaté et comporte une double paroi entourée d'un film plastique noir. Le volume utile de ce réacteur est de 4000 mL. La lampe UV, en position axiale, est protégée de la solution par une gaine de quartz perméable au rayonnement UV et d'épaisseur annulaire de 3,5 cm. La double enveloppe du réacteur permet la circulation continue d'eau

thermostatée à 25°C afin de maintenir constante la température de la solution à irradier.

### Sources lumineuses

Comme sources lumineuses, il a été utilisé deux lampes à vapeur de mercure basse pression l'une monochromatique et l'autre polychromatique.

✓ *La source lumineuse monochromatique* ( $\lambda = 253,7$  nm.) est composée d'une lampe à vapeur de mercure basse pression de marque Vilbert et Lourmat T6C d'une puissance électrique de 6 W. Le flux photonique incident a été mesuré par actinométrie chimique en utilisant du peroxyde d'hydrogène (Liliane, 2011) en milieu dilué.

✓ *La source lumineuse polychromatique* ( $\lambda \geq 285$  nm) est constituée d'une lampe de marque Vilbert et Lourmat T6M d'une puissance électrique de 6 W dont le spectre reproduit assez fidèlement le spectre solaire entre 290 et 800 nm. Son spectre d'émission mesuré à l'aide d'un spectrofluorimètre Fluoromax-2, est représenté sur la Figure 2.

### Techniques analytiques

Il a été procédé à la dégradation du profénofos par voie photochimique dans l'eau purifiée et dans les eaux naturelles utilisées communément pour la préparation des bouillies du profénofos en vue de la pulvérisation. Les cinétiques de dégradation ont été étudiées au laboratoire sous l'irradiation respective d'une lampe monochromatique ( $\lambda = 253,7$  nm) et d'une lampe polychromatique ( $\lambda \geq 285$  nm) pour simuler les radiations solaires.

### Analyse du profénofos et de ses sous-produits de dégradation

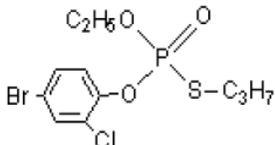
L'analyse du profénofos et de ses produits de dégradation ont été réalisés à l'aide du couplage CLHP / UV et d'une colonne dont les caractéristiques sont indiquées dans le Tableau 3 qui regroupe également les conditions CLHP (la composition de la phase mobile, la longueur d'onde de détection du profénofos étudié). Il a été défini deux temps d'irradiation, afin d'arrêter la réaction de photolyse lorsque les concentrations du profénofos ont atteint respectivement des taux de 30 et 60% de conversion. Les solutions prélevées à ces temps prédéfinis ont fait l'objet d'une analyse par CLHP.

**Tableau 1** : Paramètres physico-chimiques de l'eau de surface utilisée.

Cations (mg.L <sup>-1</sup> )				Anions (mg.L <sup>-1</sup> )				pH	Conductivité (μS.cm <sup>-1</sup> )
Ca <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>			
22,89	2,90	6,10	3,66	4,02	1,53	6,60	5,87	140,6	

**Tableau 2** : Présentation de la molécule sélectionnée.

Profénofos	
Formule brute	C <sub>11</sub> H <sub>15</sub> BrClO <sub>3</sub> PS
Nom IUPAC	O -4-bromo-2 -chlorophényl- O- éthyl- S- propyle phosphorothioate

Formule développée	
Masse molaire	373,6 g.mol <sup>-1</sup>
Solubilité dans l'eau à 20°C	20 mg.L <sup>-1</sup>

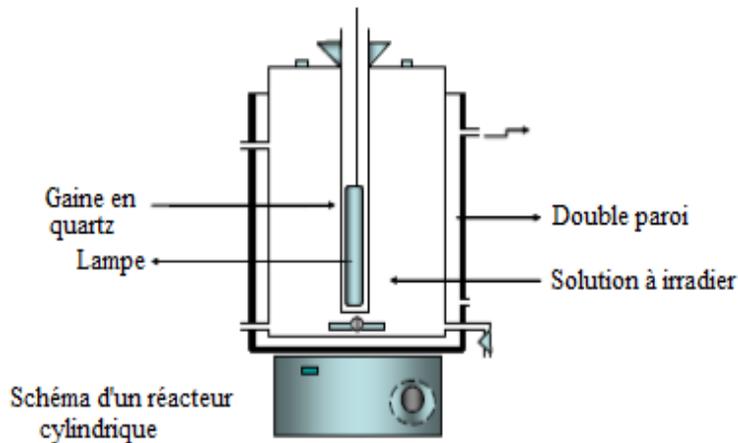


Figure 1 : Schéma du réacteur cylindrique.

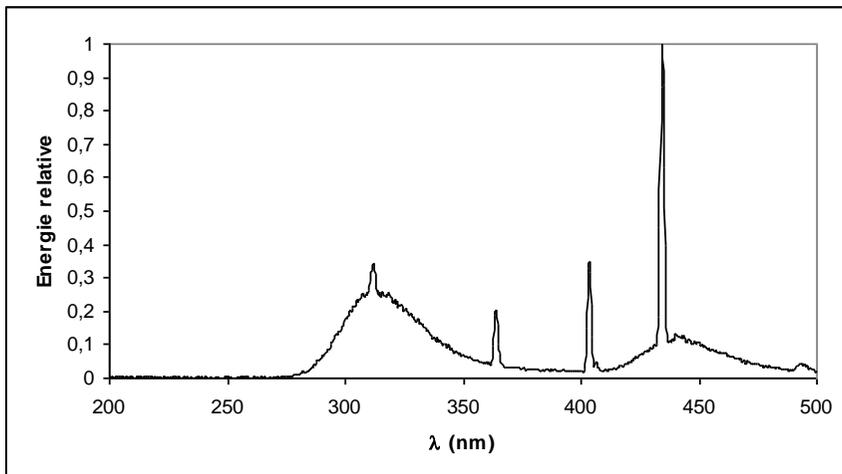


Figure 2 : Spectre d'émission de la lampe T6M (Diarra 2013).

Tableau 3 : Conditions analytiques pour le couplage CLHP/UV et la colonne utilisée.

Pesticide	Eluant	Longueur d'onde de détection	Limite de détection *
Profénofos	80 % MeOH + 20 % EUP	220 nm	colonne Interchim de type Kromasil C18 250 x 4,6 mm (5 µm)

## RESULTATS

### Profénofos en solution aqueuse

La Figure 3 rapporte le spectre d'absorption du profénofos en solution aqueuse dans l'UV-visible. Ce spectre d'absorption a été superposé au spectre d'émission de la lumière polychromatique. On note de cette figure que l'absorption du profenofos est très faible au-delà de 300 nm.

Par ailleurs, cette figure a montré une zone de recouvrement entre le spectre d'émission de la lampe polychromatique T6M et le spectre d'absorption du profenofos. Cette molécule absorbe le rayonnement solaire simulé par la lampe polychromatique ; en conséquence, elle est susceptible de subir une photo transformation directe sous irradiation polychromatique assimilable à la radiation solaire. Les valeurs des coefficients d'absorption molaire à 253,7 nm et à 285 nm du Profénofos ont été déterminées en solution aqueuse et sont respectivement de 460 et 380 L.mol<sup>-1</sup>.cm<sup>-1</sup> (Tableau 4). Les standards de déviation (SD) ont été calculés pour trois mesures.

### Etude cinétique de la photolyse du Profenofos

La Figure 4 présente dans sa partie A, l'évolution de la concentration du profenofos en fonction du temps d'exposition sous irradiation monochromatique et dans sa partie B, la représentation semi- logarithmique de l'évolution de la concentration. La droite obtenue montre que la vitesse de la photolyse à la longueur d'onde d'irradiation de 253,7 nm du Profenofos, obéit à une loi cinétique d'ordre 1 apparent. La constante cinétique ainsi que le rendement quantique correspondant sont respectivement 5,46 10<sup>-4</sup> s<sup>-1</sup> et 0,026 mol einstein<sup>-1</sup>.

### Influence de la source lumineuse

La photo-décomposition par irradiation en lumière monochromatique à  $\lambda = 253,7$  nm ou polychromatique ( $\lambda \geq 285$  nm) est très différente du point de vue cinétique comme le

montrent les représentations graphiques de la figure 5, obtenues à 25°C pour une concentration initiale en profénofos de 30  $\mu\text{mol. L}^{-1}$ .

### Influence de la nature de l'eau

L'irradiation de la solution de profénofos préparée avec de l'eau de surface (eau naturelle) et filtrée sur 0,45  $\mu\text{m}$  de maille a permis d'obtenir la Figure 6.

Il apparaît sur la Figure 6 que la cinétique de photolyse du Profénofos en lumière polychromatique suit une loi cinétique d'ordre 1 apparent, et ce, quel que soit la nature de l'eau utilisée. Les valeurs des constantes apparentes correspondant aux pentes des droites et les temps de demi-vie ( $t_{1/2} = \ln 2 / K_{\text{app}}$ ) sont présentées dans le Tableau 5.

### Identification des photoproduits du profénofos.

L'identification des sous-produits du Profénofos obtenus par irradiation polychromatique ( $\lambda \geq 285$  nm), a été réalisée au moyen de CLHP couplé à un spectromètre de masse. Le chromatogramme de la Figure 7 obtenu par dosage à l'aide de CLHP pour un arrêt de réaction de photolyse à 20 min, a montré de nombreux pics dont celui du Profénofos. Il s'agit d'un chromatogramme obtenu à l'aide de CLHP/SM en mode ESI positif (Figure 7a) et en mode ESI négatif (Figure 7b). On note que le produit P1 est le seul à avoir donné une réponse en mode positif et négatif. Tous les composés représentés sur ce chromatogramme n'ont pu faire l'objet d'une identification par CLHP/SM.

### Structures des photoproduits du Profénofos.

A l'aide des spectres de masse obtenus en mode ESI positif et négatif, présentés en Figure 8, des structures pour les pics numérotés (P1, P2, P3, P4, P5) et les mécanismes de formation des photoproduits P1, P2 (Figure 9), P4 (Figure 10), P5 et P6 (Figure 11) du profénofos ont été proposés.

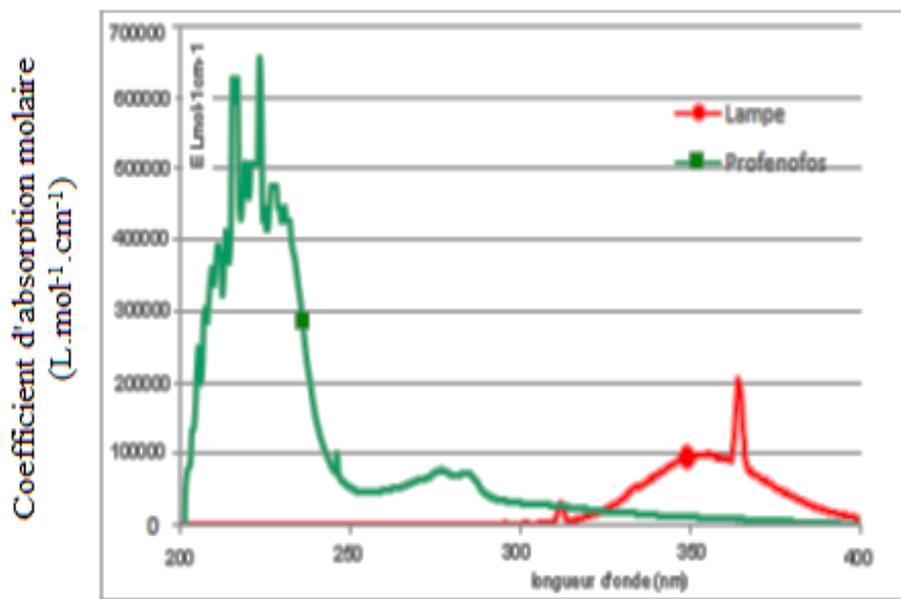


Figure 3 : Spectre d'absorption UV-visible du Profénofos [20 µmol. L<sup>-1</sup>].

Tableau 4 : Coefficient molaire d'absorption à 253,7 et à 285 nm.

Molécule	$\lambda_{253,7 \text{ nm}} (\pm \text{SD}) (\text{mol}^{-1}.\text{cm}^{-1})$	$\epsilon_{\lambda_{285\text{nm}}} (\pm \text{SD}) (\text{mol}^{-1}.\text{cm}^{-1})$
Profénofos	460 ± 30	380 ± 30

SD : Standard de Déviation

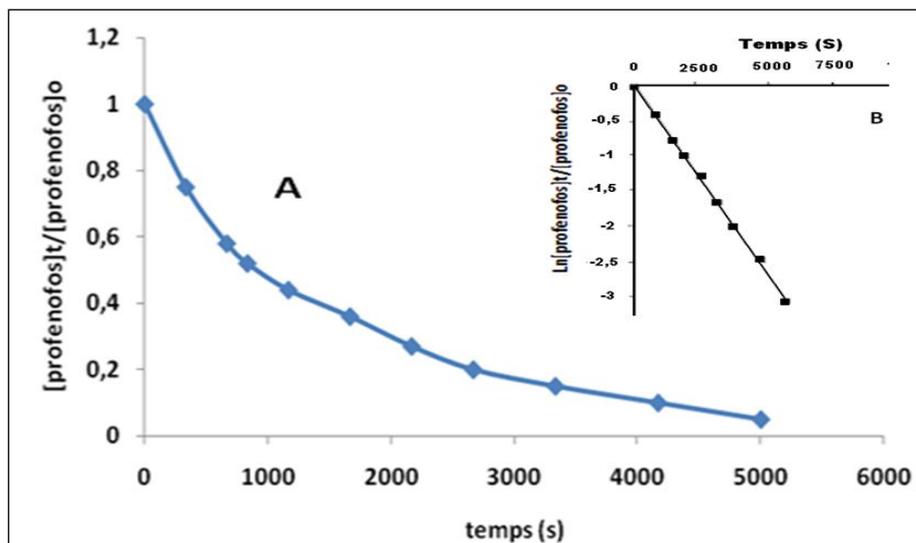
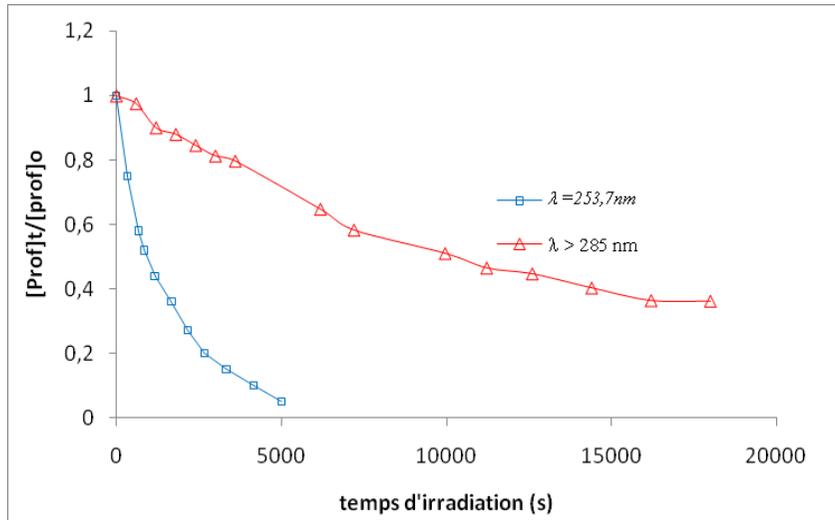
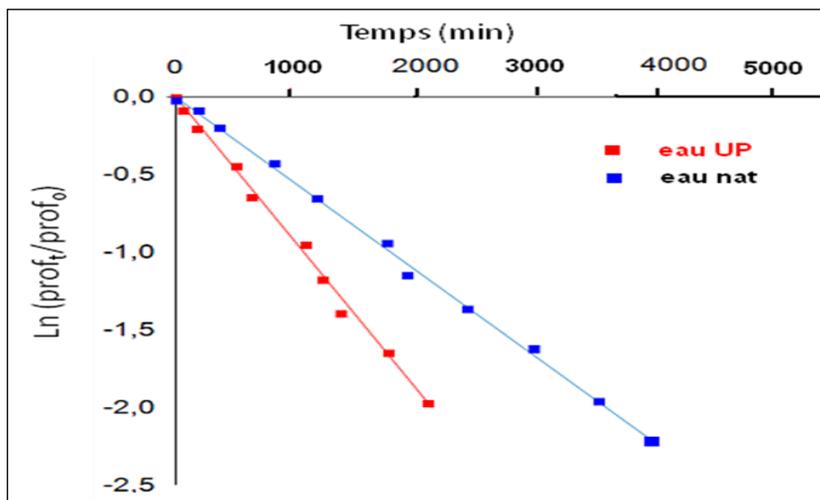


Figure 4 : Evolution de la concentration du profénophos en fonction du temps d'exposition sous irradiation monochromatique(A) et représentation semi- logarithmique de l'évolution de la concentration (B).



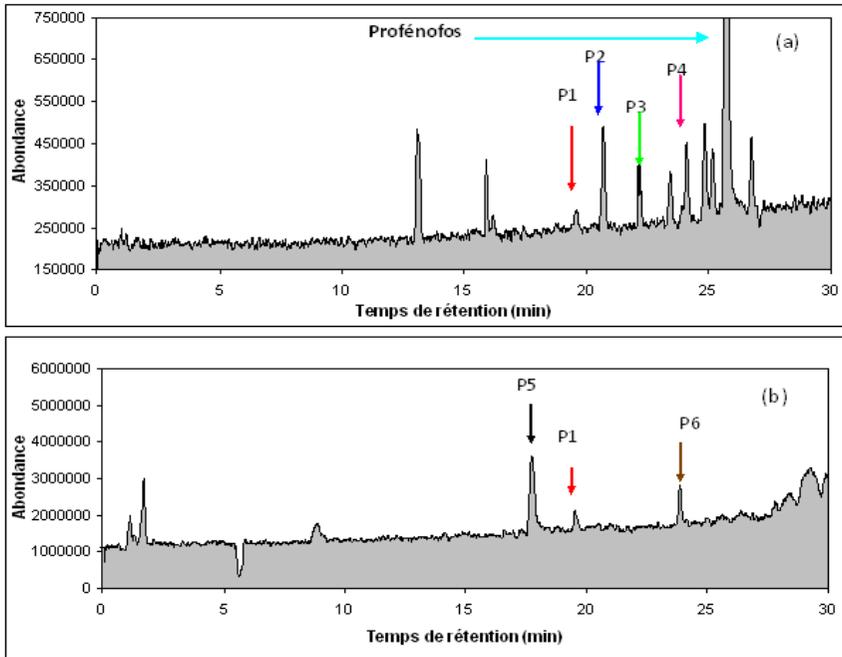
**Figure 5** : Evolution d’une solution μmolaire de Profénofos sous  $\lambda = 253,7 \text{ nm}$  et sous  $\lambda \geq 285 \text{ nm}$ .



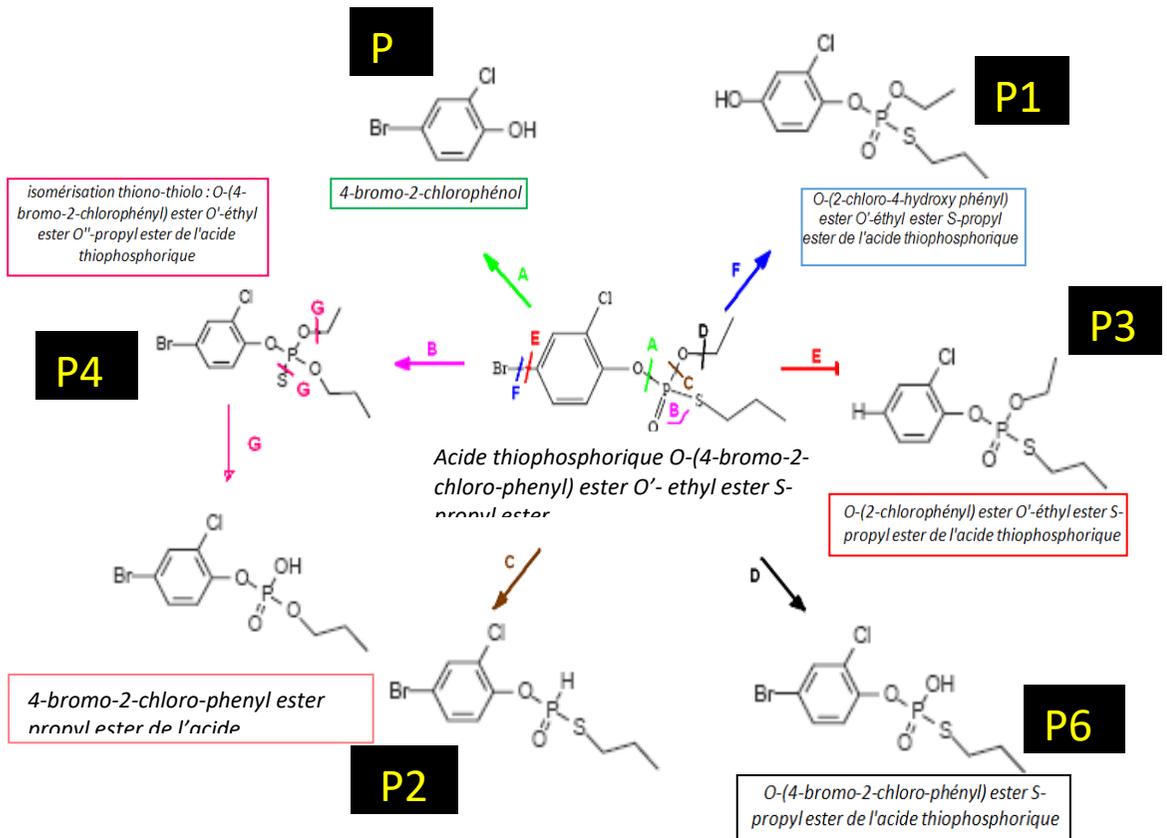
**Figure 6** : Représentation semi-logarithmique des cinétiques de photolyse ( $\lambda \geq 285 \text{ nm}$ ) du profénofos en solution aqueuse ( $[\text{profénofos}]_0 = 100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,  $\text{pH} = 8,0$ ,  $T = 25^\circ\text{C}$ ) en Eau Ultra Pure (eau UP) tamponnée et en eau naturelle (eau nat.).

**Tableau 5** : Constantes d'ordre 1 apparent et temps de demi-vie au cours de la photolyse du Profénofos en eau UP tamponnée et naturelle.

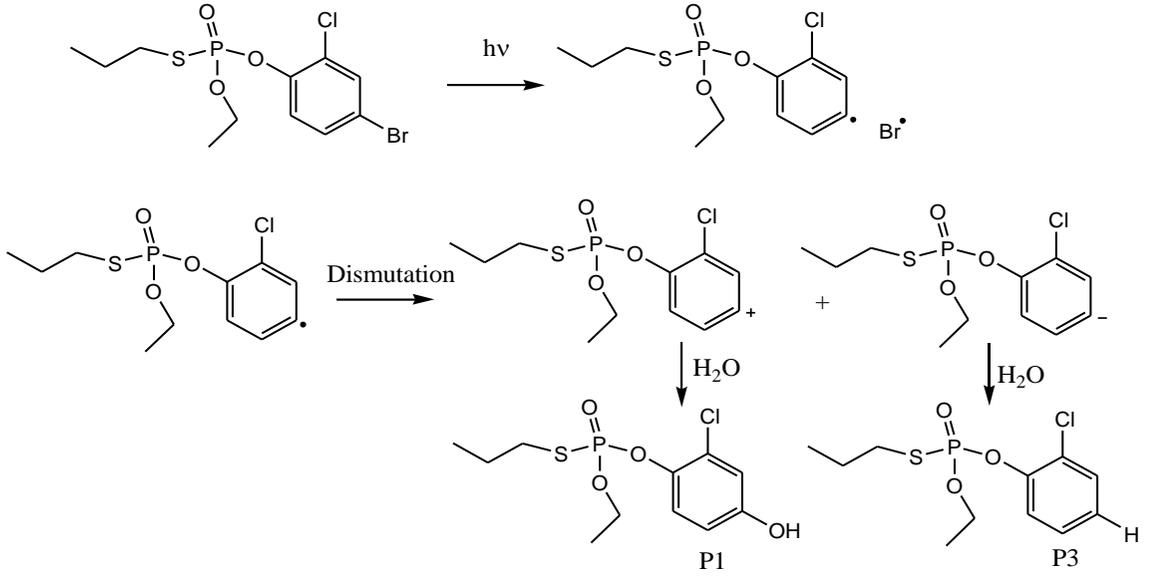
Type d'eau	$K_{app} \text{ (min}^{-1}\text{)}$	$t_{1/2}$
Eau UP	$5,1 \cdot 10^{-4}$ ( $R^2 = 0,992$ )	$\sim 23 \text{ h}$ (1353 min)
Eau naturelle	$3,7 \cdot 10^{-4}$ ( $R^2 = 0,986$ )	$\sim 31 \text{ h}$



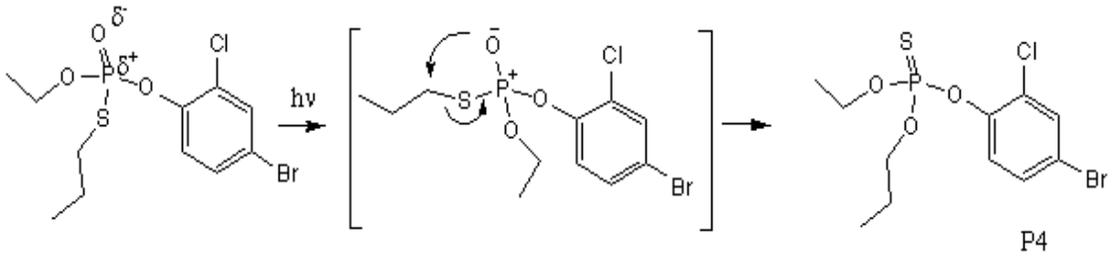
**Figure 7** : Chromatogrammes CLHP/SM (ESI) des produits de dégradation UV du profénofos (1 mg. L<sup>-1</sup>). 7a : mode positif ; 7b : mode négatif.



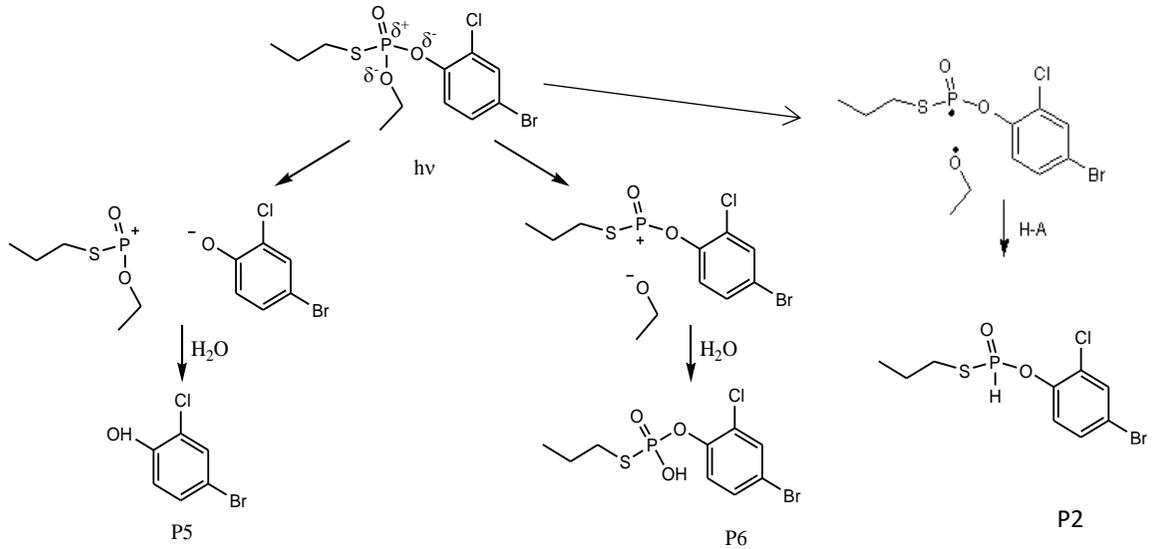
**Figure 8** : structures des produits de dégradation du Profénofos sous irradiation polychromatique ( $\lambda \geq 285$  nm) en solution aqueuse.



**Figure 9 :** Proposition de mécanisme pour la formation de P1 et P3 (photoproduits du profénofos).



**Figure 10 :** Proposition de mécanisme pour la formation de P4 (photoproduits du profénofos).



**Figure 11 :** Proposition de mécanisme de la formation de P5 et P6 (photoproduits du profénofos).

## DISCUSSION

Au niveau de l'étude cinétique de la photolyse du Profénofos, la réaction a été beaucoup plus lente sous la lampe polychromatique ( $\lambda \geq 285$  nm) que sous la lampe monochromatique ( $\lambda = 253,7$  nm) pour des concentrations similaires en profénofos. Cela pourrait s'expliquer par le fait que la longueur d'onde de 253,7 nm correspond aux UV de haute énergie, libère une quantité importante de photons (Kouadio, 2018). Par ailleurs, l'énergie libérée par cette radiation est supérieure aux énergies de liaison des molécules. Ainsi sous exposition de la lampe monochromatique (253,7 nm), les différentes liaisons chimiques de la molécule peuvent être brisées sans exception. Cette observation a été rapportée par Kouadio (2014) au cours de l'étude de la dégradation photochimique de l'acide meclofenamique sous irradiation de ces deux sources lumineuses. Le rapport des constantes apparentes est d'ordre 1 :

$$k (\lambda = 253,7 \text{ nm}) / k (\lambda \geq 285 \text{ nm}) = 64,23$$

Avec :  $k (\lambda = 253,7 \text{ nm}) = 5,46 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$  et  $k (\lambda \geq 285 \text{ nm}) = 8,5 \cdot 10^{-6} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Au niveau de l'influence de la nature de l'eau, on constate que la constante de vitesse du profenofos est plus faible dans l'eau naturelle. Ce phénomène est certainement à mettre en relation avec la présence probable de matières organiques naturelles dans l'eau naturelle (Kouadio, 2018). En effet, selon Diarra (2013), les matières organiques naturelles pourraient agir majoritairement comme un filtre limitant la photolyse directe du profenofos.

Au niveau des structures des photoproduits du profénofos, ces spectres mettent en évidence la distribution isotopique relative soit à un atome de chlore et de brome dans le cas des photoproduits P1 et P3, soit à un atome de chlore et de brome pour les produits P4, P2, P5 et P6. Burkhard (1979) et Matthieu (2007) avaient identifié les photoproduits P3 et P5 dans des conditions non précisées de photolyse. A partir des structures proposées pour les sous-produits, des mécanismes de formation ont été envisagés. Ainsi, sur la Figure 8, nous pensons que la molécule du profénofos a subi par photo-décomposition diverses coupures au niveau des liaisons esters

et C—Br pour former les différents produits de dégradation.

Au niveau de la formation des photoproduits P1 et P3 identifiés en partie grâce à l'absence du profil isotopique lié à l'atome de brome, ils peuvent provenir d'une rupture homolytique de la liaison C-Br, suivie d'une dismutation du radical formé et d'une réaction avec l'eau (Figure 9). Selon Zamy (2004) et Liu (2019), une hydrolyse photo-assistée avec polarisation de la liaison C-Br donnerait uniquement le photo-produit P1. Cependant, les photoproduits similaires qui seraient issus de la réaction sur le site chloré n'ont pas été observés.

En ce qui concerne le photo-produit P4, sa formation pourrait s'expliquer par la polarisation de la liaison P=O (Kouakou, 2014). Ainsi, sous irradiation, la séparation de la charge hétérolytique serait à envisager comme indiqué sur la Figure 10. Il pourrait s'agir ici d'une photo-isomérisation thionthiolo.

Quant à la formation des photoproduits P2, P5 et P6, la rupture hétérolytique des liaisons esters serait une voie qui conduirait à la formation des photoproduits P5 et P6. Ainsi, en solution aqueuse, le mécanisme est vraisemblablement lié aux polarisations des liaisons P-O dues à la différence d'électronégativité entre le phosphore et l'oxygène. Le produit P5 avait été observé lors de l'hydrolyse mineure du profénofos par Zamy et al (2004). La formation de P5 sous irradiation proviendrait majoritairement du processus photochimique ; car il existe un facteur 10 entre les temps de demi-vie du profénofos sous l'hydrolyse (34h) et la photolyse (23 h). Cependant, une faible participation du processus d'hydrolyse du profénofos ne peut être complètement exclue. Cette hydrolyse pourrait expliquer également la formation des autres photoproduits (P2, P4 ou P6). Toutefois, la formation du produit P2 quelque peu surprenante, pourrait faire intervenir une coupure homolytique de la liaison P-OEt suivie d'une réaction avec un donneur d'hydrogène (H—A). Ce type de composé possédant une liaison P-H a été

également proposé par Sharma (1994) dans le cas de la photolyse du phosphate.

### Conclusion

Les résultats obtenus au cours de la présente étude ont permis de montrer que le profénofos peut être photolysé par irradiation directe sous UV et par irradiation solaire. Toutefois, la cinétique est liée à la nature de la source lumineuse. Les résultats ont permis également de mettre en évidence la formation de six produits de dégradation P1, P2, P3, P4, P5 et P6 qui ont été identifiés et dont l'évaluation des risques toxicologiques pour la santé humaine mérite d'être étudiée.

### CONFLIT D'INTERETS

Les auteurs déclarent n'avoir aucun conflit d'intérêts.

### CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

La contribution des uns et des autres a été à tous les niveaux, notamment de la conduite à la réalisation des travaux au laboratoire jusqu'à la rédaction du manuscrit et aux différentes corrections apportées. MD a été l'instigateur principal et principal rédacteur de ce manuscrit. DBS, RNK et KBD ont contribué à la rédaction de ce manuscrit par leurs critiques et conseils avisés. AD, ex-directeur du Laboratoire Central d'Agrochimie et d'Ecotoxicologie (LCAE), a aidé à la réalisation du travail présenté dans ce manuscrit en fournissant la paille, les produits chimiques, les appareils et les orientations nécessaires, sans lesquels aucun résultat n'aurait été obtenu. MK et SKT ont contribué à la mise en œuvre de ce projet par ses orientations et ses conseils.

### REMERCIEMENTS

Toute ma gratitude aux différentes équipes de recherche du Laboratoire des Sciences et Technologies de l'Environnement (LSTE), du Laboratoire des sciences de l'environnement (LSE) et à l'Ex Directeur Laboratoire Central d'Agrochimie et d'Ecotoxicologie (LCAE) pour leurs implications effectives dans la réalisation de cet article.

### REFERENCES

- Antoinette A, Micheline ADT, Nelly CK, Rébecca L. 2016. Flux des polluants liés aux activités anthropiques, risques sur les ressources en eau de surface et la chaîne trophique à travers le monde : synthèse bibliographique. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **10**(3): 1459-1472. DOI : 10.4314/IJBCS.V10I3.43
- Burkhard N, Guuth J. 1979. Photolysis of organophosphorus insecticides on soil surfaces. *Pestic. Sci.*, **10** : 313-319.
- Diarra M. 2013. Traitement photochimique des effluents phytosanitaires issus du rinçage des fonds de cuve et des pulvérisateurs. Thèse Unique de Doctorat, Université Nangui Abrogoua. Abidjan, p. 161.
- Diarra M, Léonce DK, Soro DB, Roland NK, Bini KD, Dibi B, Mamadou K, Ardjouma D, Karim ST. 2020. Niveau de contamination d'une eau de surface par les produits phytosanitaires : cas de la retenue d'eau du bassin versant de la Lobo (Centre- Ouest de la Côte d'Ivoire). *International Journal of Advanced Research*, **8**(10) : 111-119. DOI : <http://dx.doi.org/10.21474/IJAR01/11831>
- Donafologo BS, Ladji M, David LK, Moussa D, Sory KT, Ardjouma D, Mamadou K. 2014. Étude cinétique de la dégradation du diméthoate en solution aqueuse par photolyse directe et par photocatalyse. *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, **24** : 69 – 83.
- Ehouman AGS. 2014. Contribution à l'évaluation de risques alimentaires liés à l'exposition de la population du département de Buyo (Côte d'Ivoire) aux résidus de pesticides. Thèse Unique de Doctorat, Université Nangui Abrogoua. Abidjan, p. 122.
- Kouadio DL, Soro BD, Diarra M, Méité L, Doumbia ML, Ehouman SGA, Mamadou K, Dembélé A, Traoré SK. 2014. Etude de la dégradation photochimique de l'acide meclofenamique. *Larhyss Journal*, **20** : 111-112.
- Léonce DK, Moussa D, Djamatché PVA, Ardjouma D, Koné M, Sory KT. 2018.

- Influence de la source lumineuse et de la nature de l'eau sur l'élimination de la Norfloxacin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **12**(2): 1028-1039. DOI: 10.4314/ijbcs.v12i2.31
- Sharma BK, Gupta N. 1994. Photodégradation de l'insecticide organophosphoré 'Phorate'. *Chimie Toxicologie et Environnementale*, **41**(3): 249-254. DOI : <https://doi.org/10.1080/02772249409357980>.
- Kouakou K. 2014. Réhabilitation des effluents phytosanitaires issus du rinçage des pulvérisateurs : cas de quatre molécules de la famille des urées substituées (le chlorotoluron, l'isoproturon, le linuron et le métobromuron). Thèse Unique de Doctorat, Université Nangui Abrogoua. Abidjan, p.118.
- Liliane S. 2011. Réduction de l'impact environnemental du blanchiment au peroxyde d'hydrogène en milieu alcalin des pâtes mécaniques. Thèse de Doctorat, Université de Grenoble. France, p. 224.
- Liu X, Zhan, Y, Zhang Z, Pan L, Hu L, Liu K, Zhou X, Bai L. 2019. Photocatalytic Degradation of Profenofos and Triazophos Residues in the Chinese Cabbage, *Brassica chinensis*, Using Ce-Doped TiO<sub>2</sub>. *Catalysts*, **9** : p. 294. DOI : <https://doi.org/10.3390/catal9030294>
- Matthieu M. 2007. Photodégradation de pesticides organophosphorés en solution aqueuse et sur argiles : étude mécanistique. Thèse de Doctorat. Université Blaise Pascal - Clermont-Ferrand II, p. 257.
- Zamy C, Mazellier P, Legube B. 2004. Analytical and kinetic study of the aqueous hydrolysis of four organophosphorus and two carbamate pesticides. *International Journal of Environmental and Analytical Chemistry*, **84** : 14-15 : 1059-1068. DOI: <https://doi.org/10.1080/03067310412331298403>