

## Amélioration de la désinfection solaire de l'eau par la photosensibilisation des extraits de plantes

### [ Improvement of solar water disinfection by the photosensitization of plant extracts ]

*Teddy Makuba SUNDA and Nicolas Kalulu Muzele TABA*

Université de Kinshasa, Faculté des Sciences et Technologies, Département de Chimie et Industrie, Laboratoire de Chimie Organique et d'Energétique, BP 190, Kinshasa XI, RD Congo

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** The present study aimed to improve the solar water disinfection by the photosensitization of coumarin extracts of some plants of the Rutaceae family (*Citrus reticulata*, *Citrus aurantium* and *Citrus maxima*). The results found in this work show an inhibition of around 7% of faecal coliforms after 15 minutes of exposure for solar disinfection. An inhibition of 17 % is noticed after 30 minutes of exposure. On the other hand, for water treated and exposed to the sun, an inhibition of around 90% is noticed for all the extracts after 30 minutes of exposure. Complete inhibition is recorded after 60 minutes of exposure. These results show that the plant extracts used improve significantly the solar disinfection of water. The photosensitizing activity observed in these extracts is due to the presence of coumarins. These molecules, in the presence of light, absorb energy and pass from the ground state to the excited state. Returning to the ground state, the stored energy is transferred to the oxygen, which then passes from the ground state, triplet, to the excited state, singlet, and inhibits the microorganisms present in the water.

**KEYWORDS:** Photosensitization, coumarin extracts, singlet oxygen, faecal coliforms, solar disinfection.

**RESUME:** La présente étude visait l'amélioration de la désinfection solaire de l'eau par la photosensibilisation des extraits coumariniques de quelques plantes de la famille de Rutacées (*Citrus reticulata*, *Citrus aurantium* et *Citrus maxima*). Les résultats trouvés dans ce travail montrent une inhibition de l'ordre de 7 % des coliformes fécaux après 15 minutes d'exposition pour la désinfection solaire. Celle-ci passe à 17 % après 30 minutes d'ensoleillement. Par contre, pour l'eau traitée et exposée au soleil, nous avons noté une inhibition de l'ordre de 90% pour tous les extraits après 30 minutes d'exposition. L'inhibition complète est enregistrée après 60 minutes d'exposition. Ceci montre que les extraits de plantes utilisés améliorent sensiblement la désinfection solaire de l'eau. L'activité photosensibilisatrice remarquée dans ces extraits est due à la présence des coumarines. Celles-ci en présence de lumière absorbent l'énergie et passent de l'état fondamental à l'état excité. En revenant à l'état fondamental, l'énergie emmagasinée est transférée à l'oxygène qui passe dès lors de l'état fondamental, triplet, à l'état excité, singulet, tout en inhibant les coliformes fécaux présents dans l'eau.

**MOTS-CLEFS:** Photosensibilisation, extraits coumariniques, oxygène singulet, coliformes fécaux, désinfection solaire.

## 1 INTRODUCTION

Bien que possédant les ressources hydrologiques les plus abondantes en Afrique, la République Démocratique du Congo fait face à une crise aiguë d'approvisionnement en eau potable. En effet, seuls 33% de la population congolaise a accès à une eau potable salubre, une estimation bien en dessous de la moyenne de 60 % pour l'ensemble de l'Afrique subsaharienne [1],

[2]. Ce problème est essentiellement dû au manque d'entretien d'infrastructures et de pièces de rechange. Par conséquent, 90 % de la population rurale s'approvisionnent dans les sources et puits peu profonds.

Dans la plupart des cas, ces points d'approvisionnement (sources et puits) ne sont pas protégés et deviennent des sources potentielles de contamination. Il en résulte de graves problèmes de santé publique. Les initiatives tendant à promouvoir l'application des techniques de traitement de l'eau au niveau individuel ou familial telles que l'ébullition, la chloration, l'ozonation,... devraient donc être encouragées [3], [4].

Mais toutes ces méthodes mentionnées ci-dessus posent des problèmes: la déforestation pour l'ébullition, le goût désagréable produit par les dérivés du chlore ainsi que le coût élevé de l'ozone,... Cependant, la désinfection solaire, une méthode simple, peu coûteuse, semble être une alternative pour la désinfection de l'eau au niveau familial. Mais l'efficacité de celle-ci est mise en doute à cause des variations des conditions climatiques [3]. L'efficacité de cette dernière peut être améliorée par l'usage de l'oxygène singulet, via la photodynamique [4], [5], [6].

L'oxygène singulet, produit de l'action conjuguée d'un photosensibilisateur et de lumière (photosensibilisation), attaque et endommage la plupart des biomolécules et entraîne ainsi la mort cellulaire et tissulaire [7], [8], [9].

Les réactions des espèces réactives de l'oxygène (stress oxydatif) interviennent également dans le mode d'action de certaines drogues et médicaments, signalent plusieurs auteurs [10], [11]. Certaines plantes utilisées dans la pharmacopée traditionnelle pour soigner les infections microbiennes et parasitaires sont capables de réagir par un mécanisme du type stress oxydatif [12]. Ces plantes sont donc capables de générer l'oxygène singulet [13].

L'étude de la désinfection de l'eau par photosensibilisation avec les extraits de feuilles de plantes (*Cassia alata*, *Cassia occidentalis*, *Carica papaya*, *Coleus kilimanschari* et *phyllanthus niruri*) a montré une inhibition complète des coliformes fécaux présents dans l'eau après une heure d'ensoleillement avec saturation du milieu en oxygène (barbotage). Par contre, les extraits de zestes de plantes de la famille de Rutacées (*Citrus*) ont montré une activité photosensibilisante intéressante sans saturation du milieu en oxygène [13], [14], [15]. L'activité photosensibilisante remarquée dans ces extraits est essentiellement due à la présence des coumarines [15].

Nous poursuivons cette étude en utilisant cette fois-ci comme agents photosensibilisateurs les extraits coumariniques des zestes de *Citrus reticulata*, *Citrus aurantium* et *Citrus maxima*.

## 2 MATERIEL ET METHODES

### 2.1 MATERIEL VEGETAL

Les zestes de *Citrus reticulata*, *Citrus aurantium* et *Citrus maxima* constituent le matériel végétal utilisé dans la présente étude. Les fruits ont été récoltés à Kinshasa, puis identifiés à l'herbarium de l'Université de Kinshasa. Par la suite, ceux-ci ont été séchés à l'air libre et en l'absence du soleil pendant deux mois, puis pulvérisés en vue de l'obtention d'une poudre fine.

### 2.2 L'EAU

L'eau utilisée dans cette étude provenait de la rivière N'djili dans la ville de Kinshasa, en République Démocratique du Congo. Celle-ci comportait plus de  $310^2$  UFC coliformes fécaux /ml.

### 2.3 LA SOURCE LUMINEUSE

Comme source lumineuse, nous avons utilisé les rayonnements solaires. En effet, les zestes des Citrus sont concentrés en coumarines. Celles-ci absorbent dans la partie UVA (320-400 nm) du spectre solaire [16], [17].

### 2.4 EXTRACTION DES COUMARINES

Les zestes ont été séchés dans un endroit sec et aéré, à l'abri de lumière pendant deux mois. Par la suite, ceux-ci ont été entièrement broyés en vue de l'obtention d'une poudre fine. Par après, 100g de poudre ont été pesées et macérées dans un mélange hydro-alcoolique (Méthanol/Eau: 80%/20%, V / V). Cette macération est répétée deux fois avec renouvellement du solvant, elle dure chaque fois 24 heures, puis on filtre. Après filtration, le filtrat obtenu est concentré à pression réduite. Celui-ci subit par la suite des extractions successives au dichlorométhane. L'extraction est répétée trois fois. Les phases organiques obtenues sont séchées sur du sulfate de sodium anhydride ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) pour éliminer toute trace d'eau.

## 2.5 TESTS DE PHOTOSENSIBILISATION

Les réacteurs utilisés dans cette étude sont des boîtes en verre de pyrex de 100 ml de capacité. La concentration de 0,1 ml d'extrait coumarinique /50 ml d'eau (2 ml d'extraits /litre d'eau) a été utilisée pour les expériences. Un lot constitué d'échantillons d'eau traités et un autre lot constitué d'échantillons non traités (blancs) ont été exposés au soleil. Un autre lot constitué d'échantillons d'eau traités a été gardé à l'obscurité. A 0, 15, 30, 60, 120, 180 et 240 minutes, des prélèvements ont été effectués dans chaque lot pour la mise en culture. Ces expériences ont été dupliquées trois fois. Les différents points repris dans chaque figure représentent la moyenne de trois mesures. Pour chaque série de données, l'erreur standard a été calculée (moyenne  $\pm$  SD).

## 2.6 ANALYSES BACTERIOLOGIQUES

Les analyses bactériologiques ont été réalisées par mise en culture de 1 ml d'eau sur le milieu Rapid'E Coli (incorporation en gélose). Après la mise en culture, on incube à 44,5°C pendant 24 heures. Après incubation, les colonies sont dénombrées les unes après les autres.

## 3 RESULTATS ET DISCUSSION

### 3.1 DESINFECTION SOLAIRE DE L'EAU

La figure 1 donne les résultats des tests de désinfection solaire.

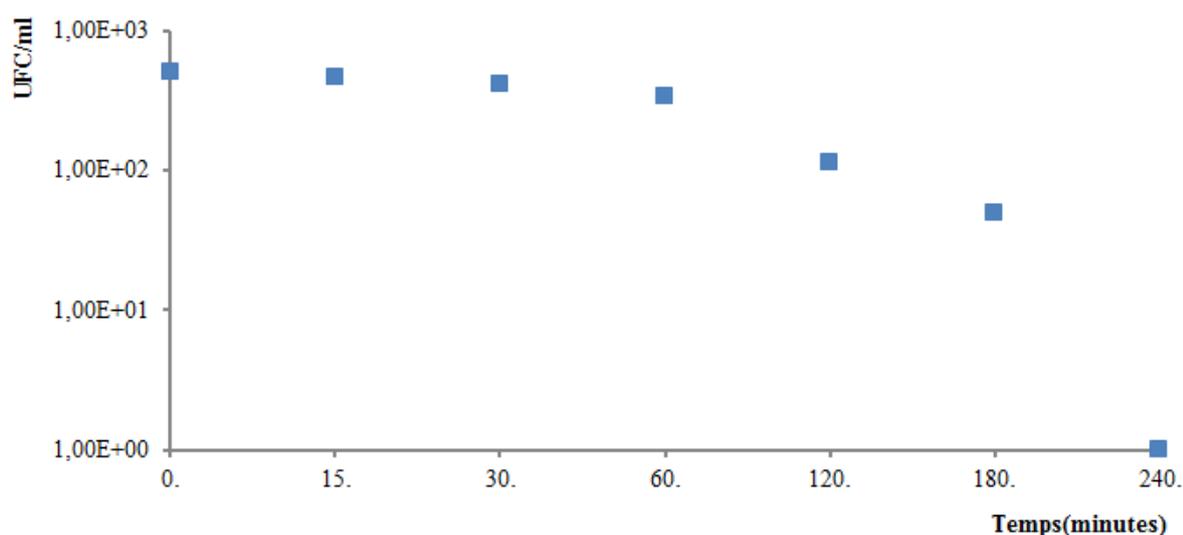


Fig. 1. Abattement des coliformes fécaux en fonction du temps dans l'eau non traitée et exposée au soleil

#### ■ Eau non traitée et exposée au soleil

Comme le montre la figure 1, une inhibition de l'ordre de 7 % est notée après 15 minutes d'enseuillement. Celle-ci passe à 17 % après 30 minutes. Une inhibition de l'ordre de 30 % est remarquée après une heure du temps.

Le fait qu'une inhibition négligeable de l'ordre de 7 % soit notée après 15 minutes d'enseuillement et 30% après 60 minutes laisse supposer que l'efficacité de la désinfection solaire croit avec le temps. Ainsi, l'effet synergique de la température et des ultraviolets conduit progressivement à l'élimination des coliformes fécaux contenus dans l'eau. Mais il faut suffisamment de temps pour que les microorganismes soient complètement détruits [3], [18].

Dans ces conditions, la désinfection solaire peut être améliorée par l'usage des substances photosensibilisatrices. Celles-ci offrent l'avantage de réduire sensiblement le temps d'enseuillement. Les extraits coumariniques de *Citrus reticulata*, *Citrus aurantium* et *Citrus maxima* ont été utilisés comme agents photosensibilisateurs dans le cadre de cette étude.

**3.2 DESINFECTION DE L'EAU PAR PHOTOSENSIBILISATION AVEC LES EXTRAITS COUMARINIQUES *CITRUS RETICULATA*, *CITUS AURANTIUM* ET *CITRUS MAXIMA***

Les résultats des tests de désinfection de l'eau par photosensibilisation avec les extraits coumariniques sont repris dans les figures 2, 3 et 4.

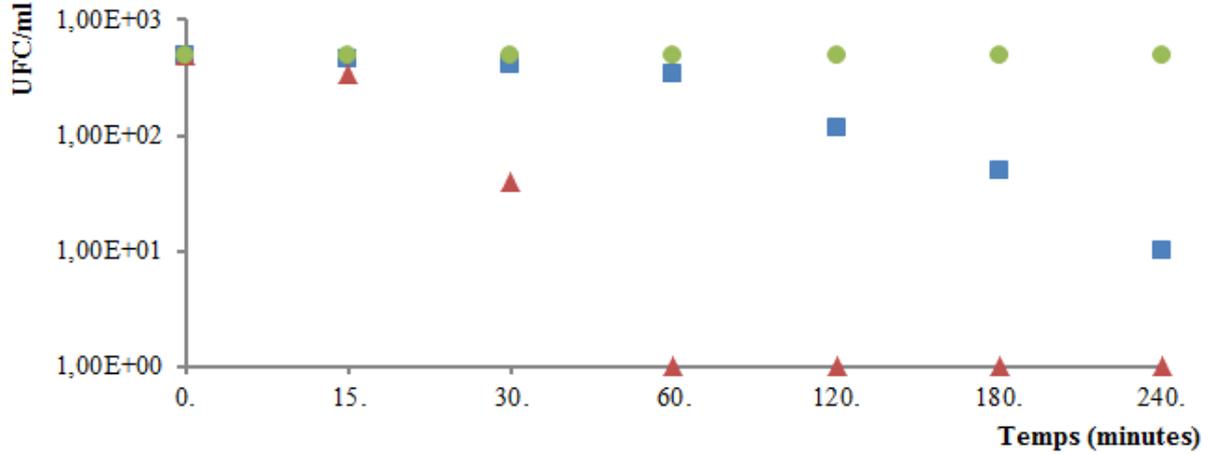


Fig. 2. Abatement des coliformes fécaux en fonction du temps en utilisant l'extrait de Citrus reticulata

- Eau non traitée et exposée au soleil
- ▲ Eau traitée et exposée au soleil
- eau traitée et gardée à l'obscurité

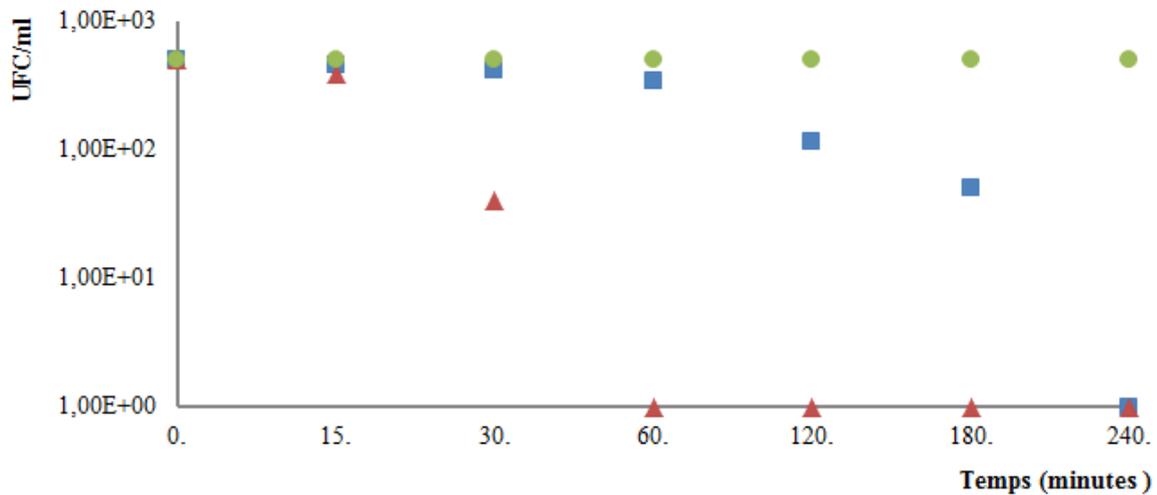


Fig. 3. Abatement des coliformes fécaux en fonction du temps en utilisant l'extrait de Citrus aurantium

- Eau non traitée et exposée au soleil
- ▲ Eau traitée et exposée au soleil
- eau traitée et gardée à l'obscurité

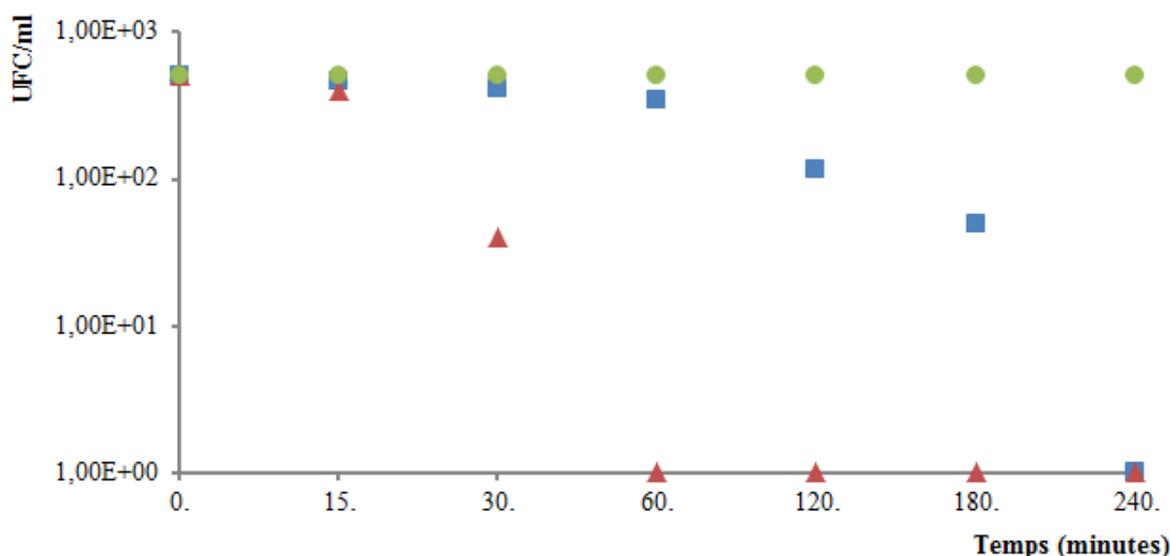


Fig. 4. Abattement des coliformes fécaux en fonction du temps en utilisant l'extrait de *Citrus maxima*

- Eau non traitée et exposée au soleil
- ▲ Eau traitée et exposée au soleil
- eau traitée et gardée à l'obscurité

Nous avons remarqué des résultats intéressants dans les tests de désinfection de l'eau avec l'extrait coumarinique de *Citrus maxima*. En effet, une inhibition de l'ordre de 35% des coliformes fécaux est enregistrée après 15 minutes d'ensoleillement. 30 minutes après, elle est passée à 93%. L'inhibition est complète après 60 minutes d'exposition.

Quant aux échantillons traités avec l'extrait coumarinique de *Citrus reticulata*, des inhibitions de l'ordre de 20% et 92% sont remarquées respectivement après 15 et 30 minutes d'ensoleillement. L'inhibition complète des coliformes fécaux est notée après 60 minutes d'ensoleillement.

Enfin pour les échantillons traités avec l'extrait coumarinique de *Citrus aurantium*, 23% d'inhibition est remarquée après 15 minutes et 90% après 30 minutes. Après 60 minutes d'ensoleillement, nous n'avons relevé aucune colonie des coliformes fécaux (inhibition complète).

Il ressort de ce qui précède que l'utilisation des substances photosensibilisatrices améliore sensiblement la désinfection solaire. En effet, pour la désinfection solaire, il a été remarqué une inhibition de l'ordre de 17% après 30 minutes d'ensoleillement. Pour ce même temps, il est remarqué une inhibition de l'ordre de 90% pour les extraits coumariniques (*Citrus reticulata*, *Citrus aurantium* et *Citrus maxima*). L'inhibition complète des coliformes fécaux est notée après 60 minutes d'ensoleillement pour tous les extraits coumariniques (*Citrus reticulata*, *Citrus aurantium* et *Citrus maxima*); contrairement à la désinfection solaire, où une faible inhibition de l'ordre de 30% est notée après 60 minutes. Pour les échantillons d'eau traités et gardés à l'obscurité, aucune inhibition n'a été notée du début à la fin des expériences.

L'activité photosensibilisatrice remarquée dans ces extraits est due à la présence des molécules photosensibilisatrices, principalement le méthoxy-5 psoralène, une furocoumarine photoactivable. Certaines maladies de la peau (le psoriasis, le vitiligo,...) sont de plus en plus soignées par cette molécule. Celle-ci est aussi utilisée, à cause de sa photoréactivité, en photothérapie PUVA (Psoralène-UVA thérapie). Ce traitement consiste à administrer par voie orale un médicament à base de méthoxy-5 psoralène et à exposer par la suite le patient sous la lumière solaire ou ultraviolette. En présence des UVA, il se développe une réaction de photoaddition conduisant à la formation des liaisons covalentes entre le méthoxy-5 psoralène et les bases azotées, notamment la pyrimidine. Ceci aboutit à l'inhibition de la duplication de l'ADN et la transcription de l'ARN. Ces perturbations entraînent par la suite la mort de la cellule bactérienne. Cette réaction, appelée photoréaction du type I, est favorisée dans des milieux anoxiques. Par contre, en présence de l'oxygène, le méthoxy-5 psoralène conduit à une photoréaction du type II. Cette réaction consiste au transfert de l'énergie emmagasinée par le méthoxy-5 psoralène à l'oxygène. Ce dernier subit l'excitation et passe de l'état fondamental, triplet, à l'état excité, singulet. L'oxygène singulet généré dans le milieu détruit les cellules microbiennes [19], [20].

#### 4 CONCLUSION

Le présent travail avait pour objectif l'amélioration de la désinfection solaire de l'eau par l'utilisation des substances à activité photosensibilisatrice (extraits coumariniques de *Citrus reticulata*, *Citrus aurantium* et *Citrus maxima*).

La désinfection solaire montre une faible inhibition (17%) des coliformes fécaux présents dans l'eau après 30 minutes d'ensoleillement. Celle-ci passe à 30 % après une heure d'ensoleillement.

Par contre, pour les échantillons d'eau traités avec les extraits coumariniques, nous avons noté une inhibition de l'ordre de 90% après 30 minutes d'ensoleillement. L'inhibition complète est notée pour tous les extraits après 60 minutes d'ensoleillement. Ceci montre que l'utilisation des substances photosensibilisatrices améliore sensiblement la désinfection solaire de l'eau.

Des études supplémentaires s'avèrent nécessaires notamment en ce qui concerne la sensibilité des parasites et virus vis-à-vis de ces extraits. Les autres plantes de la famille de Rutacées devraient également être testées.

#### REFERENCES

- [1] Banque Africaine de Développement (BAD), Projet PRISE, République Démocratique du Congo, Actualités, 2021.
- [2] Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE), Problématique de l'eau en République Démocratique du Congo, Rapport Technique, 2011.
- [3] R. Meierhofer and M. Wegelin, *Solar Water Disinfection: A guide for the application of Sodis*, 2002.
- [4] M. Sunda, Contribution à l'étude de la désinfection de l'eau par photosensibilisation avec des extraits de plantes, Thèse de Doctorat, Université de Liège, 2012.
- [5] Aquacat, L'utilisation de l'oxygène singulet pour la désinfection de l'eau, Cordis, 2008.
- [6] M. E. Jimenez-Hernandez, F. Manjon, D. Fresnadillo and G. Orellana, Solar water disinfection by singlet oxygen photogenerated with polymer-supported Ru (II) sensitizers, *Solar Energy*, Vol. 80, pp. 1382–1387, 2006.
- [7] A. Hergueta-Bravo, M.E. Jimenez-Hernandez, E. Oliveros, F. Montero and G. Orellana, Singlet oxygen-mediated DNA photocleavage with Ru (II) polypyridyl complexes, *J. Phys. Chem. B*, Vol. 106, pp. 4010–4017, 2002.
- [8] F. Käsermann and C. Kempf, Inactivation of enveloped viruses by singlet oxygen thermally generated from a polymeric naphthalene derivative, *Antivir. Res.*, Vol. 38, pp. 55–62, 1998.
- [9] D. García-Fresnadillo, Singlet oxygen photosensitizing materials for point-of-use water disinfection with solar reactors, *Chem. Photo. Chem.*, Vol. 2, pp. 512–534, 2018.
- [10] W. Bors, M. Saran and D. Tait, *Oxygen radicals in chemistry and biology*, ed. w. de Gruyter, Berlin, 344p, 1984.
- [11] I.A. Clark and W. Cowden, *Antimalarias in oxidation stress*, Academic Press, London, 201p, 1984.
- [12] C.S. Foote, Photosensitized oxidation and singlet, consequences in biology systems, free radicals in biology, 3, ed. by Wa. Pryor, Academic Press, Berlin., 1984.
- [13] K.M. Taba et E. Luwenga, L'effet de la photosensibilisation des extraits de plantes dans la désinfection de l'eau, *Med. Fac., Landbouww.*, Univ. Gent, p.177-181, 1999.
- [14] M. Sunda., F. Rosillon et K.M. Taba., Contribution à l'étude de la désinfection de l'eau par photosensibilisation avec les extraits de plantes, *European Journal of Water Quality*, Vol. 39, pp. 199- 209, 2008.
- [15] M. Sunda., F. Rosillon, K.M. Taba et N.Lami, Désinfection de l'eau par photosensibilisation avec les huiles essentielles de *Citrus bergamia*, *Citrus reticulata* et *Citrus limonum*, 8<sup>e</sup> Congrès international du Gruttee, Nancy, France, 2009.
- [16] F. Bordin, Photochemical and photobiological properties of furocoumarins and homologous drug, *International Journal of Photoenergy*, Vol. 1, pp.1-6, 1999.
- [17] M. Sunda., F. Rosillon, K.M. Taba et B. Wathelet, Désinfection de l'eau par photosensibilisation avec le méthoxy-5 psoralène fixé sur le polystyrène, *Afrique Science*, Vol.17, pp.127-136, 2000.
- [18] M.Sunda, F. Rosillon, K.M. Taba et B. Wathelet, Contribution à la désinfection de l'eau par photosensibilisation avec des extraits de plantes, *International Journal of Innovation and Applied Studies*, Vol. 25, pp. 843-850, 2019.
- [19] M. Sunda., F. Rosillon., K.M. Taba et B. Wathelet., Contribution à l'étude de la désinfection de l'eau par photosensibilisation avec le méthoxy-5 psoralène fixé sur le polystyrène, *International Journal of Applied Science and Innovation*, vol 39, pp. 376-383, 2023.
- [20] M.Sunda, F. Rosillon, K.M. Taba et B. Wathelet, Contribution à l'étude de la désinfection de l'eau par photosensibilisation avec les extraits de plantes, *Compte Rendu de chimie*, Vol. 19, pp. 827-831, 2016.