

Les Algues et Le Traitement Des Eaux

Afaf DJAGHOUBI⁽¹⁾, Samia HADJ-SAID⁽¹⁾, and Mustapha DADDI BOUHOUN⁽²⁾

⁽¹⁾ Univ Oaargla, Lab. Les réservoirs souterrains pétroliers, gaziers et aquifères. B.P 511 Ouargla 30 000, Algérie

⁽²⁾ Univ Oaargla, Lab. Protection des écosystèmes des zones arides et semi arides. B.P 511 Ouargla 30 000, Algérie

E-Mails dja_af@live.fr

Abstract— La pollution de l'environnement due à l'évolution de la technologie est l'un des problèmes les plus importants de ce siècle. L'intégration des eaux avec les micro-algues est apparue comme une solution dans une optique de durabilité environnementale qui s'impose pour répondre aux normes environnementales en constante évolution. De plus de leur capacité à la bioaccumulation des métaux lourds, ainsi que certains composés organiques toxiques, ne conduit donc pas à une pollution secondaire. Il est maintenant admis que les systèmes de traitement des eaux par les algues sont aussi efficaces que les systèmes de traitement conventionnels. Dans cette revue, nous mettrons en évidence le rôle des micro-algues dans le traitement des eaux.

Key-Words—*microalgues; eaux; traitement; bioaccumulation.*

I. INTRODUCTION

L'utilisation des molécules comme un adsorbant pour accumuler les minéraux des eaux est entreprise depuis une soixantaine d'années [1]-[2]. La technologie et la biotechnologie de la culture de masse de microalgues ont été beaucoup discutées [3]-[4]. Bien que la bioaccumulation par la biomasse microalgale a attiré l'attention des chercheurs comme indique des centaines de publications en termes de coûts et d'énergie [5]-[6]-[7]. Le concept d'utilisation d'algues dans le traitement de l'eau a été proposé pour la première fois par des travaux d'Oswald et Gotaas (1954) [5] et de collaborateurs de l'Université de Californie.

Les micro-algues sont des micro-organismes photosynthétiques qui utilisent l'énergie du soleil pour se développer, consommant les minéraux et CO₂ [8]. Ils accumulent des matières organiques sous forme de protéines, lipides, glucides, hydrocarbures et autres petites molécules et pigments [9].

Les algues cultivées dans les eaux usées ont de nombreuses utilisations potentielles. Elles peuvent être décrites comme aliments pour animaux et poissons, produits chimiques et engrais, bioplastiques, peintures ainsi colorants [10]. Des recherches approfondies ont été menées sur la croissance et l'élimination des éléments nutritifs des eaux usées par les microalgues. De nombreuses espèces de micro-algues se développent efficacement dans les eaux usées telles que les algues vertes soit *Clorella sp.* [11]-[12] et *Scenedesmus sp.* [5]-[6]-[13]; les cyanobactéries soit *Spirulina sp.* [14]-[15]-[16] et *Phormidium sp.* [13]-[17]-[18], ainsi que les diatomées [19]. Ces études ont évalué la qualité de l'effluent final et ont déterminé l'efficacité de l'élimination des nutriments, de la demande chimique et biochimique en oxygène, des métaux lourds, des antibiotiques et des substances radioactives, ainsi que des micro-organismes des eaux usées.

II. PROCÉDÉS DE TRAITEMENT TERTIAIRE

Les procédés de traitement conventionnels primaire et secondaire des eaux ont été introduits afin d'éliminer les matériaux facilement décantés et d'oxyder la matière organique présente dans les eaux usées. Cependant l'effluent secondaire est chargé en azote inorganique et en phosphore; un

processus tertiaire complet visant à éliminer l'ammonium, le nitrate et le phosphate sera donc d'environ quatre fois plus chère que le traitement primaire. Ainsi un traitement quaternaire et autre quinaire pour éliminer des métaux lourds, des composés organiques et minéraux solubles seront d'environ huit et seize fois plus coûteuses que celui de traitement primaire [20]-[21].

Le system de la culture de microalgues est entièrement négatif en carbone, car le CO₂ consommé par les algues est supérieur à la quantité libérée dans l'atmosphère [10]. Il offre une approche plus efficace pour éliminer les nutriments et les métaux, sans danger pour l'environnement, que le traitement tertiaire conventionnel en termes de coûts et d'énergie [17]-[28]-[22]-[23]. Cette approche peut être réalisée avec peu ou pas d'utilisation d'additifs chimiques [16]-[23]-[24]. Il a été également proposés ce système en tant que processus de traitement secondaire plutôt que tertiaire avec une hyper concentration microalgale [11]. Par conséquent, une fois que les algues ont absorbé les éléments nutritifs contenus dans les eaux ; les effluents peuvent être décantés et les algues peuvent ensuite être récoltées [22].

III. MECANISME DU BIOTRAITEMENT LES

Le concept de traitement des eaux par les microalgues n'est pas difficile à comprendre. Les algues utilisent des nutriments provenant du milieu aquatique, tandis que les eaux à traiter contiennent une quantité de nutriments pouvant être utilisés par les algues [10]; Ceux-ci comprennent plusieurs macronutriments tels que le carbone, l'azote et le phosphore, le soufre, le potassium, la silicone (pour les diatomées), et un certain nombre d'oligo-éléments tels que le cobalt, le molybdène et le manganèse les minéraux, et plusieurs vitamines telles que B12 et thiamine [25]. Elles utilisent la lumière comme source d'énergie et le CO₂ comme source de carbone et absorbent les nutriments pour leurs fonctions cellulaires [8].

De manière générale, la bioaccumulation des minéraux se déroule en deux stades. Le premier

stade, considéré comme l'adsorption physique ou échange d'ions à la surface cellulaire, il est très rapide et réversible [26]. Le deuxième stade, c'est l'absorption, lié à l'activité métabolique et plus lent [26]-[27]. Les parois cellulaires des microalgues ont une grande capacité à lier les minéraux [26]- [28]. Chez les algues, deux types de liaisons entraînent l'adsorption sur la surface de la cellule ; liaisons ioniques générées par une charge de surface négative, et liaisons covalentes avec les groupements fonctionnels des protéines et polysaccharides membranaires [29]. Ils peuvent fournir des groupes de liaison comprenant un groupe amino et carboxyle, l'azote et l'oxygène de la liaison peptidique, le phosphate et les radicaux sulfate où les minéraux peuvent réagir [30]. Une telle formation de la liaison pourrait être accompagnée d'un déplacement des protons, comme déterminé par le pH. L'absorption intracellulaire des métaux lourds à peut être assuré par le même mécanisme que celui utilisé pour transporter les ions essentiels du point de vue métabolique, tels que le potassium, le magnésium et le sodium [26].

IV. REDUCTION DE LA DBO/DCO

Les algues sont un moyen efficace de fournir aux bactéries aérobies l'oxygène nécessaire par la photosynthèse. La DBO est principalement éliminée par l'oxydation de la matière organique par des bactéries aérobies [31]. L'oxygène nécessaire à l'oxydation de la DBO provient de l'activité photosynthétique de la micro-algue [5]. En réduisant ainsi les coûts élevés d'aération mécanique constatés dans les traitements traditionnels des eaux usées .Un kg de DBO éliminé par oxygénation photosynthétique ne nécessite aucun apport d'énergie, alors que dans le processus de boues activées, un kWh d'électricité est nécessaire pour l'aération afin d'éliminer un kg de DBO [32]. Su *et al.* (2011) [33] ont constaté que les réductions de la demande biochimique en oxygène (DBO) et de la demande chimique en oxygène (DCO) étaient respectivement de 22% et 38%. Tandis que Colak et Kaya (1988) [34] ont

rapportés d'une réduction de 68,4% et 67,2-77% pour la DBO et de la DCO respectivement dans les eaux usées.

V. ENLEVEMENT DES NUTRIMENTS N ET P

De nombreuses études ont démontré le succès de l'utilisation de cultures d'algues pour éliminer les nutriments des eaux usées riches en composés azotés et phosphorés [22]-[33]. Le taux de croissance des algues n'est pas affecté par la source d'azote inorganique (NH_4N , NO_3N , NO_2N). Cependant, les nitrates et les nitrites doivent être réduits en ammoniacal avant l'assimilation [25], et la consommation de nitrate ne se produit pas avant que l'ammonium soit presque complètement consommé [31]. Les phosphates inorganiques jouent un rôle important dans la croissance cellulaire et le métabolisme des algues [25]. Au cours de leur métabolisme, le phosphore, de préférence sous forme de H_2PO_4^- et de HPO_4^{2-} [35]. Afin d'assurer une utilisation simultanée de l'azote et du phosphore, le rapport N / P doit être dans un intervalle approprié [36].

Les cyanobactéries *Arthrospira sp* sont capables d'éliminer 84–100% de l'azote ammoniacal et 72–99% du phosphore des eaux usées [14]-[15]. Ainsi que les chlorophycées *Chlorella sp* les niveaux de phosphate ont été réduits de 76-80% et 63-84% d'azote [15]-[37]-[38]. Dans d'autres études, avec différentes microalgues, l'efficacité d'élimination de l'azote était de 23 à 100%, tandis que son efficacité de l'élimination du phosphore était de 12 à 100% [6]-[39]. Ces taux d'élimination sont influencés par des facteurs variés tels que le pH [13], l'intensité lumineuse [17], la température [18], et le rapport N/P [36].

VI. ENLEVEMENT DES METAUX LOURDS

Il a été largement rapporté que d'ions métalliques, notamment de Chrome [40], Plomb [41], Zinc [42], Sélénium [43], Cadmium et Nickel [44] étaient efficacement éliminées par les systèmes de traitement des eaux usées par les microalgues. L'adsorption est considérée comme le plus contributif à l'élimination globale des ions

métalliques, qui peut être réalisée à la fois par des cellules d'algues vivantes et mortes [20]-[45]. Les groupes fonctionnels présents à la surface des cellules sont capables de se lier à des ions métalliques, ce qui rend les micro-algues un excellent capteur de métaux lourds [10].

La quantité de minéral adsorbé par les microalgues est directement liée au nombre de sites de liaison [26]. Il existe une certaine variabilité dans les taux d'enlèvement des métaux lorsque différentes algues sont comparées pour le même métal. Bien que la biosorption d'un métal peut être influencée par la présence d'autres métaux. [26]. Certains métaux peuvent présenter une réduction significative de leur assimilation en présence d'un autre métal, tandis que la capacité d'assimilation du second élément (le co-ion) n'est pas significativement affectée [46].

VII. CONCLUSION

Traitement des eaux par les microalgues offre une option efficace pour, à la fois, recycler les nutriments et améliorer la qualité de l'eau. Il est entièrement négatif en carbone et efficace de fournir aux bactéries aérobies l'oxygène nécessaire par la photosynthèse. Ce type de traitement semble bien performer par rapport aux procédés chimiques qui peuvent conduire en général à une pollution secondaire. Il est maintenant admis que les systèmes de traitement des eaux par les algues sont aussi efficaces que les systèmes de traitement conventionnels.

REFERENCES

- [1] Giles C.H., Mac Evan T.H., Nakhwa S.N. and Smith D. (1960). Studies in adsorption. Part XI: A system of classification of solution adsorption isotherms, and its use in diagnosis of adsorption mechanisms and in measurement of specific surface areas of solids. Journal of the Chemical Society., 10, 3973-3993
- [2] Luo X., Lei X., Cai N., Xie X., Xue Y. and Yu F. (2016). Removal of Heavy Metal Ions from Water by Magnetic Cellulose-Based Beads with Embedded Chemically Modified Magnetite

- Nanoparticles and Activated Carbon. ACS Sustainable Chem. Eng., 7(4), 3960-3969
- [3]Gotaas H.B., Oswald W.J. and Ludwig H.F. (1954). Photosynthetic Reclamation of Organic Wastes. The Scientific Monthly., 79(6), 368-378
- [4]Bux F. (2013). Biotechnological Applications of Microalgae: Biodiesel and Value-Added Products. CRC Press, pp.255
- [5]Lavoie A. and de la Noue J. (1985). Hyperconcentrated cultures of *Scenedesmus obliquus*. A new approach for wastewater biological tertiary treatment. Water. Res., 19,1437-1442
- [6]Xin L., Hong Ying H. and Yang, J. (2010). Lipid accumulation and nutrient removal properties of a newly isolated freshwater microalga, *Scenedesmus sp.* LX1, growing in secondary effluent. New Biotechnol., 27, 59–63
- [7]Lv J., Feng J., Liu Q. and Xie S. (2017). Microalgal Cultivation in Secondary Effluent: Recent Developments and Future Work. Int. J. Mol. Sci., 79, 1-18
- [8]Pedroni P., Davison J., Beckert H., Bergman P. and Benemann J. (2001). A proposal to establish an international network on biofixation of CO₂ and greenhouse gas abatement with microalgae. Journal of energy and environmental research., 1(1), 136-150
- [9]Pulz O. and Gross W. (2004). Valuable products from biotechnology of microalgae. Appl. Microbiol. Biotechnol., 65, 635–648
- [10]Krishna A.R., Dev L. and Thankamani V. (2012). An integrated process for Industrial effluent treatment and Biodiesel production using Microalgae: Review Article. Research in Biotechnology., 3(1), 47-60
- [11]Tam N.E.Y. and Wong Y.S. (1989). Wastewater Nutrient Removal by *Chlorella pyrenoidosa* and *Scenedesmus sp.* Environmental Pollution., 58, 19-34
- [12]Gao F., Li C., Yang Z.H., Zeng G.M, Mu J., Liu M. and Cui W. (2016). Removal of nutrients, organic matter, and metal from domestic secondary effluent through microalgae cultivation in a membrane photobioreactor. J. Chem. Technol. Biotechnol., 91, 2713 – 2719
- [13]Sukacová K., Trtílek M. and Rataj T. (2015). Phosphorus removal using a microalgal biofilm in a new biofilm photobioreactor for tertiary wastewater treatment. Water. Res., 71, 55 – 63
- [14]Olguin E.J., Galicia S., Mercado G., Perez T. (2003). Annual productivity of *Spirulina (Arthrospira)* and nutrient removal in a pig wastewater recycling process under tropical conditions. Journal of Applied Phycology., 15, 249–57
- [15]Ruiz Marin A., Mendoza Espinosa L.G. and Stephenson T. (2010). Growth and nutrient removal in free and immobilized green algae in batch and semi-continuous cultures treating real wastewater. Bioresource.Technology., 101, 58–64.
- [16]Djaghoubi A., Daddi Bouhoun M., Hadj Said S., Seggai A., Sobti S. and Belhadj H.A.(2015). Growth and Nitrogen Removal as Protein Content from Tertiary Municipal Wastewater in Ouargla. Procedia Energy., 74, 1402-1409
- [17]Talbot P. and De La Noue J. (1993). Tertiary treatment of wastewater with *phormidium bohneri* (schmidle) under various light and temperature conditions. Wat. Res., 27(1), 153-15
- [18]Chevalier P., Proulx D. (2000). Nitrogen and phosphorus removal by high latitude mat-forming cyanobacteria for potential use in tertiary wastewater treatment. J. Appl. Phycol., 12, 105-112
- [19]Kelly M.G. (2012). Role of benthic diatoms in the implementation of the Urban Wastewater Treatment Directive in the River Wear, North-East England. Journal of Applied Phycology., 14, 9-18
- [20]De la Noie J., Laliberté. and Proulx D. (1992). Algae and waste water. Journal of Applied Phycology., 4, 247-254
- [21]Oswald W.J. (1995). Ponds in the twenty-first century. Wat. Sci. Tech., 31(12), 1-8
- [22]Tang E.P., Vincent W.F., Proulx, D., Lessard P. and de la Noüe, J. (1997). Polar cyanobacteria versus green algae for tertiary waste-water treatment in cool climates. J. Appl. Phycol., 9, 371–38
- [23]Hoffmann J.P. (1998). Wastewater treatment with suspended and nonsuspended algae. J. Phycol., 34, 757–763
- [24]Djaghoubi A., Daddi Bouhoun M. et Hadj Said S. Effet de la bioaccumulation sur la qualité des eaux d'irrigation de la région de Ouargla. Proceeding 7ème Workshop sur l'agriculture saharienne,

Potentialités Agrobiologiques des Sols : Ouargla 7 mars 2018.

- [25]Cai T., Park S.Y. and Li Y. (2013). Nutrient recovery from wastewater streams by microalgae: Status and prospects. *Renew. Sustain Energy. Rev.*, 19, 360–369
- [26]Veglio F. and Beolchini F. (1996). Removal of metals by biosorption : a review. *Hydrometallurgie.*, 44, 301-316
- [27] Nourbakhsh M., Sag Y., Ozer D., Aksu Z., Kutsal T. and Caglar A. (1994). A Comparative Study of Various Biosorbents for Removal of Chromium(VI) Ions from Industrial Waste Waters. *Process Biochemistry.*, 29, 1-5
- [28]Tsezos M. and Volesky B., (1981). Biosorption of uranium and thorium. *Biotechnol. Bioeng.*, 23, 83-604
- [29]Davis T.A., Volesky B. and Mucci A. 2003.- A review of the biochemistry of heavy metal biosorption by brown algae. *Water Research.*, 37, 4311–4330
- [30]Crist R.H., Oberholser K., Shank N. and Nguyen M. (1981). Nature of Bonding between Metallic Ions and Algal Cell Walls. *Environmental Science & Technology.*, 15(10), 1212-1217
- [31]Gao F., Li C., Yang Z.H., Zeng G.M., Mu J., Liu M. and Cui W. (2016). Removal of nutrients, organic matter, and metal from domestic secondary effluent through microalgae cultivation in a membrane photobioreactor. *J Chem. Technol. Biotechnol.*, 91, 2713 – 2719
- [32]Oswald W.J . (2003). My sixty years in applied algology. *Journal of Applied Phycology.*, 15, 99–106
- [33]Su Y., Mennerich A. and Urban B. (2011). Municipal wastewater treatment and biomass accumulation with a wastewater-born and settleable algal-bacterial culture. *Water research.*, 45, 3351-3358
- [34] Colak O. and Kaya Z. (1988). A study on the possibilities of biological wastewater treatment using algae. *Doga. Biyolji. Serisi.*, 12(1), 18–29
- [35]Martinez M.E., Jimenez J.M. and El Yousfi F. (1999). Influence of phosphorus concentration and temperature on growth and phosphorus uptake by the microalga *Scenedesmus obliquus*. *Bioresource Technology.*, 67, 233-240
- [36]Li X., Hu H.Y., Gan K. and Sun Y.X. (2010). Effects of different nitrogen and phosphorus concentrations on the growth, nutrient uptake, and lipid accumulation of a freshwater microalga *Scenedesmus sp.* *Bioresource Technology.*, 101, 5494–500
- [37]Lee K. and Lee C.G. (2001). Effect of light/dark cycles on wastewater treatments by microalgae. *Biotechnology and Bioprocess Engineering.*, 6, 194–9
- [38]Hongyang S., Yalei Z., Chunmin W., Xuefei Z. and Jinpeng L. (2011). Cultivation of *Chlorella pyrenoidosa* in soybean processing wastewater. *Bioresource Technology.*, 102, 9884–90
- [39]Wang X.X., Wu, Zhang T.Y., Xu X.Q., Dao G.H. and Hu H.Y. (2016). Simultaneous nitrogen, phosphorous, and hardness removal from reverse osmosis concentrate by microalgae cultivation. *Water Research.*, 94,215-224
- [40]Gong R., Ding Y., Liu H., Chen Q. and Liu Z. (2005). Lead biosorption and desorption by contact and pretreated *spirulina maxima* biomass. *Chemosphere.*, 58, 125-130
- [56] Chojnacka K. (2007). Bioaccumulation of Cr (III) ions by Blue-Green alga *Spirulina sp.* Part I. A Comparison with Biosorption. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences.*, 2(4), 218-223
- [42]Huijuan M., Yunfeng X. and Hong C. (2012). Bioremediation of surface water co-contaminated with zinc (II) and linear alkylbenzene sulfonates by *Spirulina platensis*. *Physics and Chemistry of the Earth.*, 47(48), 152–155
- [43]Gerhardt M.B., Green F.B., Newman R.D., Lundquist T.J., Tresan R.B. and Oswald W.J. (1991) Removal of Selenium Using a Novel Algal Bacterial Process. *Research Journal of the Water Pollution Control Federation.*, 63, 779-805
- [44]Sari A., Tuzen M., Uluozlu O.D. and Soylak M. (2007). Biosorption of Pb(II) and Ni(II) from aqueous solution by lichen (*Cladonia furcata*) biomass. *Biochem. Eng. J.*, 37, 151–158
- [45]Fourest E. and Volesky B. (1996). Contribution of sulfonate groups and alginate to heavy metal biosorption by the dry biomass of *Sargassum fluitans*. *Environ. Sci. Technol.*, 30, 277–282
- [46]Açikel U. and Alp T. (2009). A study on the inhibition kinetics of bioaccumulation of Cu(II) and Ni(II) ions using *Rhizopus delemar*. *Journal of Hazardous Material.*, 168, 1449-1458