



International Journal of Natural Resources and Environment

Journal home page: <https://ijnre.univ-adrar.dz>

ISSN 2710-8724



I
J
N
R
E

Optimisation des paramètres d'adsorption du colorant BTB-VG par la méthode de Taguchi

Farhate Bensalah^{1,2*}, Hakim Aguedal¹, Samia Benhammadi³, Abdelkader Iddou¹, Abdallah Aziz²

¹Laboratoire des Ressources Naturelles Sahariennes, Faculté des Sciences et de la Technologies, Université Ahmed Draia – Adrar 01000, Algérie,

²Laboratoire de Valorisation des Matériaux, Faculté des Sciences et Technologies, Université Abdelhamid Ibn Badis - Mostaganem, Bp 227, Mostaganem 27000, Algérie.

³Université des sciences et de la technologie mohammed boudiaf - Oran

* Corresponding author: ferhat.bensalah72@gmail.com (F. Bensalah)

Article details: Received: 07 September 2020, Revised: 05 November 2020, Accepted: 10 December 2020

Résumé:

Ce présent travail consiste à étudier l'adsorption d'un colorant acide dans l'industrie textile par la mise en œuvre de la technique de plan d'expérience dont l'opportunité de permettre un raccourci de manipulations à réaliser toute en augmentant le nombre de facteurs étudiés. Actuellement, cette technique est un outil efficace et logique pour déterminer les paramètres de contrôle optimaux dans le domaine de traitement des eaux colorés, en livrant un processus d'adsorption utile pour son environnement opérationnelle. En effet, le plan d'expérience a été réalisé par l'application de la méthode de Taguchi qui est une conception de matrice orthogonale servant à une évaluation considérable des facteurs sélectionnés d'une part, et d'autre part minimisant le nombre d'essai expérimentale. Le plan d'expérience a été établi pour l'adsorption du colorant BTB-VG. 18 expériences ont été réalisées par trois niveaux de contrôle pour chaque paramètre.

Mots clés : Adsorption ; Plan d'expérience ; Taguchi ; Colorant industriel.

Abstract:

This present work consists in studying the adsorption of an acid dye in the textile industry by the implementation of the experimental design technique including the opportunity to allow a shortcut of manipulations to be carried out while increasing the number of factors studied. Currently, this technique serves as an efficient and logical tool to determine the optimal control parameters in the field of colored water treatment, delivering an adsorption process useful for its operational environment. Indeed, the experimental design was carried out by applying the Taguchi method, this method is an orthogonal matrix design which serves for a considerable evaluation of the selected factors on the one hand, and on the other hand to minimize the number of experimental tests. The experimental design was established for the adsorption of the BTB-VG dye. 18 experiments were carried out by three levels of control for each parameter.

Keywords: Adsorption; Experimental design; Taguchi; Industrial dye.

1. Introduction

Au cours des dernières décennies, la pollution de l'environnement est devenue l'un des problèmes majeurs du secteur industriel. Parmi ces polluants, les colorants qui ont des effets graves à la fois sur l'homme et sur l'environnement. Leur quantité n'a cessé d'augmenter sous forme d'effluents en raison de la croissance des activités industrielles. Ils sont rejetés dans l'environnement, par certaines industries telles que le textile, le plastique, les pâtes et papiers, l'impression...etc (El Haddad et al., 2014).

Aujourd'hui, il est bien établi que les composés colorés sont parmi les produits les plus contaminants dans les eaux usées. Ces colorants sont nocifs, cancérigènes et présentent un danger surtout pour les organismes aquatiques. La libération de composés colorants dans les systèmes d'eau sans traitements appropriés empêche la pénétration de la lumière du soleil dans l'écosystème réduisant de ce fait les phénomènes de photosynthèse ce qui conduit à l'asphyxie du milieu aquatique et un déséquilibre de la chaîne alimentaire (Sheshdeh et al. 2014). Vu à leur nature non biodégradable les colorants ont tendance à s'accumuler dans le système biologique, posant des risques pour la santé même à de faibles concentrations (Djafer et al. 2014). De nombreuses méthodes de traitement ont été proposées pour l'élimination des colorants synthétiques parmi lesquelles on cite : la coagulation-floculation, la dégradation photo-catalytique, la filtration membranaire, la décomposition microbiologique, l'oxydation électrochimique, et l'adsorption. Les procédés de décomposition microbiologique, photo-catalytique et électrochimique ne sont pas efficaces car de nombreux colorants ne peuvent pas être dégradés facilement. La coagulation-floculation génère des sous-produits ingérables (Bhatti et Nausheen, 2014 ; Akar et al. 2009 ; Yang et al., 2011). L'adsorption sur charbon actif (AC) a néanmoins été repérée comme une technologie efficace pour réduire les substances colorées en solution aqueuse, en raison des surfaces spécifiques élevées, associées à une chimie de surface adéquate, des AC. Les propriétés texturales des charbons actifs peuvent être ajustées en sélectionnant les conditions appropriées de préparation (c'est-à-dire le type de précurseur et les méthodologies de carbonisation/activation) (Reddad et al., 2002 ; Bayramoglu et Yakup Arica, 2007 ; kousha et al., 2012). Cependant, l'utilisation d'outils de conception expérimentale pour obtenir les meilleures conditions de préparation de charbons activés avec des paramètres texturaux adéquats est rarement rapportée. Par conséquent, il existe un intérêt croissant pour trouver un matériau alternatif efficace et idéal qui soit relativement rentable et en même temps ayant une efficacité d'adsorption élevée. Ces travaux incluent l'utilisation d'adsorbants naturels tels que les déchets agricoles (Aziz et al., 2009 ; Wang et al., 2006 ; Iddou et Ouali, 2005 ; Iddou et al., 2011).

Dans la présente étude, l'utilisation d'un adsorbant peu coûteux et respectueux de l'environnement, les coquilles d'amande, a été étudiée comme matériau alternatif. Un plan d'expérience a été établi par la méthode de Taguchi, pour l'optimisation des meilleures conditions d'adsorption du colorant BTB-VG.

2. Matériels et Méthodes

2.1. Préparation des matériaux

Dans cette étude l'adsorbant utilisé est un matériau issu des déchets agroalimentaire. Après la collecte, le déchet est laissé à l'abondant afin qu'il vieillisse. Le vieillissement assurera un changement au niveau de la structure du matériau. Les matériaux ont été broyés, puis tamisés à différentes granulométries. Les matériaux obtenus ont été notés MB et MM respectivement pour le matériau brut et modifié (vieilli).

2.2. Conception des expériences d'adsorption

La matrice L_{18} ($2^1 \times 3^2$) a été choisie dans le logiciel Minitab version 17 comme configuration du tableau orthogonale pour effectuer des expériences d'adsorption en mode batch du colorant BTB-VG sur notre biomatériau, et la capacité d'adsorption est la réponse visée.

En effet, la concentration initiale du colorant, le temps de contact, le pH de la solution et la température du milieu réactionnel ont été sélectionnés comme facteurs de contrôle et leurs niveaux d'essai ont été définis comme indiqué dans le Tableau 01.

Tableau 1. Paramètres d'adsorption et leurs niveaux de contrôle.

Facteurs	Désignation	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
Température (°C)	A	15	45	-
pH	B	2	6	10
Concentration (mg/L)	C	20	50	500
Temps (min)	D	5	60	180

La particularité que nous offre cette technique, réside dans l'analyse des rapports signal/bruit (S/N). Ces derniers font l'objet d'une prévision des conditions opératoires optimales. Dans cette analyse, nous avons choisi la qualité significatif « the higher –the better » (équation 01) dans le but d'obtenir la plus grande capacité d'adsorption.

$$\left(\frac{S}{N}\right) = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum \frac{1}{y_i^2} \right] \quad (01)$$

Avec :

Yi: réponse expérimentale (quantité de colorant adsorbé) et n : le nombre de réplifications d'expériences.

3. Résultats et Discussions

3.1. Résultats des essais en batch

Les résultats des 18 expériences de l'adsorption du colorant textile par MB et MM, relié au réseau orthogonal de Taguchi L18 sont regroupées dans le Tableau 02.

Tableau 2. Résultats d'adsorption du colorant BTB-VG (selon le Tableau orthogonal L₁₈ de Taguchi).

Expérience	Température	pH	Concentration	Temps	Brut	Modifié
1	1	1	1	1	10,008	7,031
2	1	1	2	2	17,277	17,731
3	1	1	3	3	71,731	79,038
4	1	2	1	1	1,223	2,254
5	1	2	2	2	5,869	6,738
6	1	2	3	3	32,308	25,000
7	1	3	1	2	0,062	2,723
8	1	3	2	3	4,185	4,923
9	1	3	3	1	22,308	31,923
10	2	1	1	3	7,931	17,285
11	2	1	2	1	12,669	19,008
12	2	1	3	2	11,731	80,385
13	2	2	1	2	1,000	0,531
14	2	2	2	3	3,815	5,623
15	2	2	3	1	38,654	47,885
16	2	3	1	3	1,423	2,115
17	2	3	2	1	4,592	0,915
18	2	3	3	2	20,385	36,538

3.2. Optimisation des paramètres d'adsorption

Les Tableaux 03 et 04 regroupent l'ensemble des rapports moyens S/N pour chaque niveau des facteurs expérimentaux. Les niveaux optimaux des différents paramètres pour le matériau brut et modifié sont représentés respectivement dans les Figures 01 et 02. D'après l'allure des graphiques, les paramètres d'adsorption optimaux sont clairement indiqués. L'agencement optimal a été spécifié pour le matériau brut et modifié comme étant : A1, B1, C3, D3 (Concentration initiale=500mg/L, Temps de contact =180min, pH=2, Température 15°C). Ces paramètres opératoires donnent des quantités adsorbées de BTB-VG de 71,73mg/g et 80,38 mg/g respectivement pour le matériau brut et modifié.

Tableau 3. Réponses des rapports signal/bruit pour MB.

Niveau	Température (°C)	pH	Concentration (mg/L)	Temps (min)
	A	B	C	D
1	19,194	26,317	8,293	16,329
2	16,012	15,114	13,615	17,279
3	-	11,378	30,901	19,200

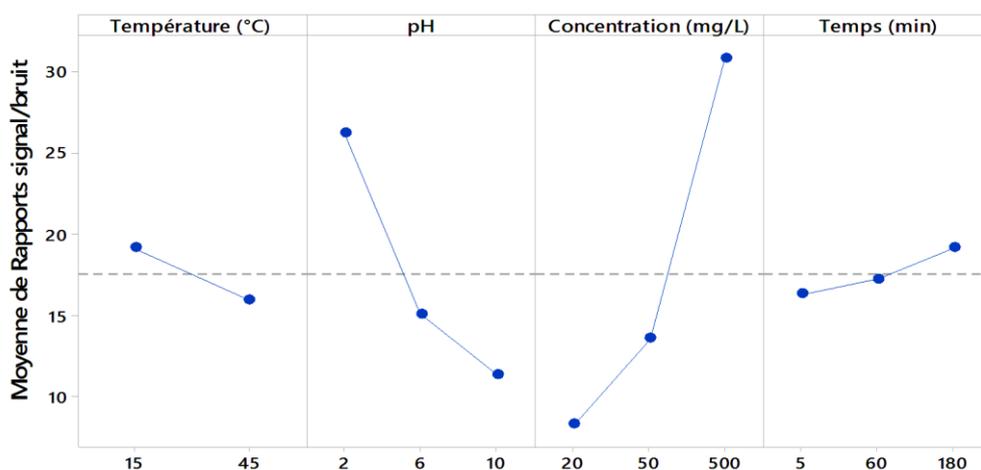


Fig.1. Effet des facteurs de contrôle sur l'adsorption de BTB-VG pour MB.

Tableau 4. Réponses des rapports signal/bruit pour MM.

Niveau	Température (°C)	pH	Concentration (mg/L)	Temps (min)
	A	B	C	D
1	20,454	28,051	9,743	18,749
2	18,726	15,782	15,867	19,017
3	-	14,937	33,160	21,003

Les valeurs en gras représentent les facteurs optimaux des niveaux de contrôle.

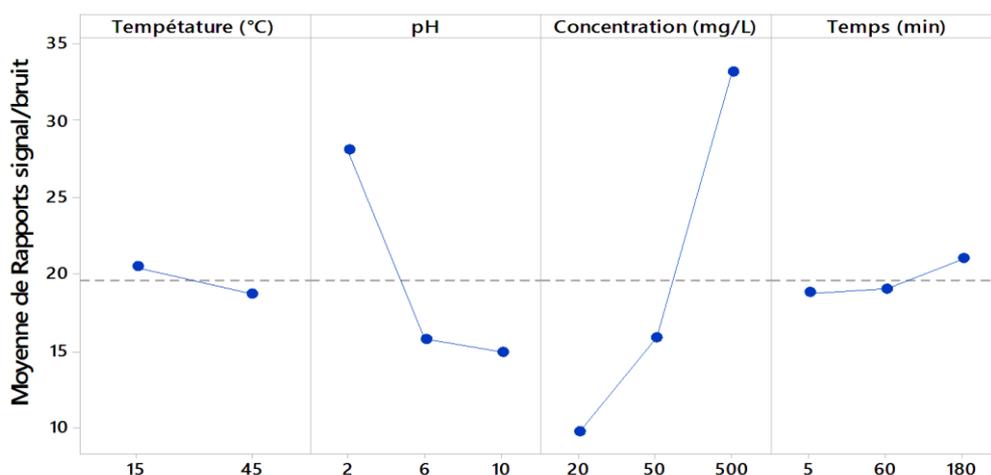


Fig.2. Effet des facteurs de contrôle sur l'adsorption de BTB-VG pour MM.

3.3. Etude des effets combinés des facteurs de contrôle

Au vu des résultats sur l'effet combiné des facteurs de contrôle sur la capacité d'adsorption du colorant BTB-VG, il apparaît qu'une affinité est remarquable entre les variables étudiées.

Les Figures 03 et 04, illustrent le tracé des courbes en 3 dimensions (3D) pour les matériaux MB et MM respectivement. Ces figures montrent que la capacité d'adsorption augmente avec l'augmentation de la concentration initiale, et le temps de contact, tandis qu'elle est en relation étroite avec la diminution du pH et la température du milieu. Par ailleurs, les capacités d'adsorption importantes obtenues dépendent des forces d'entraînement provoquées par le gradient de concentration à l'interface solide/liquide. La quantité adsorbée du polluant BTB-VG augmente convenablement avec le temps. A noter que le ralentissement du taux d'adsorption indique l'atteinte l'équilibre et mène la saturation des adsorbants (Bhati et Nausheen, 2014). La quantité éliminée la plus élevée du colorant BTB-VG est favorisé dans la gamme du pH acide pour MB et MM. Cela peut être dû au phénomène de protonation des matériaux qui engendre des forces d'attraction électrostatiques entre la surface des adsorbants et le colorant BTB-VG qui semble être anionique (Bayramoglu et Yakup Arica, 2007 ; Aguedal et al., 2018).

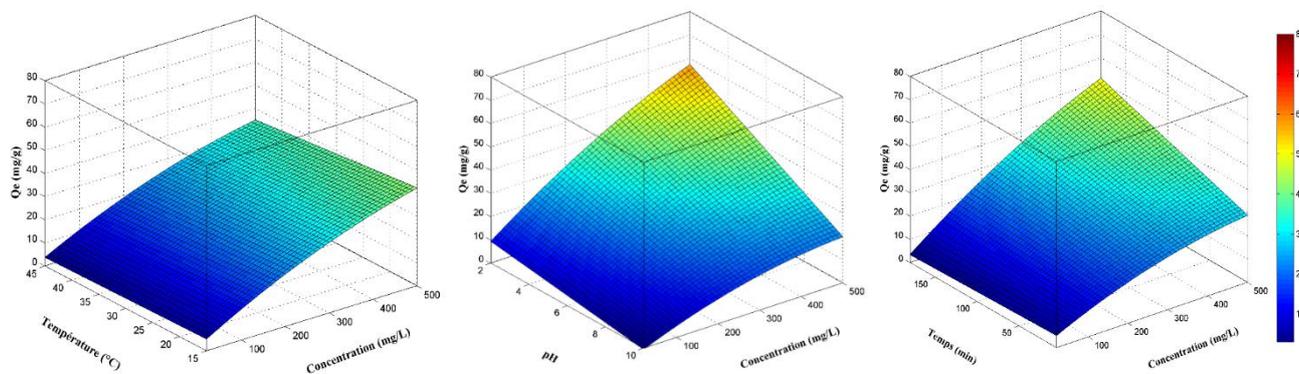


Fig.3. Effet combiné des facteurs de contrôle sur les performances de MB.

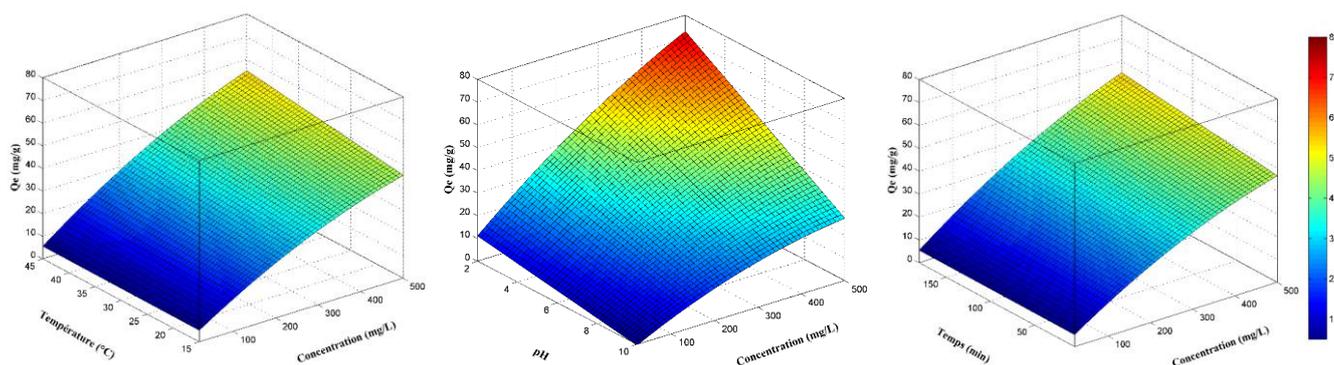


Fig.3. Effet combiné des facteurs de contrôle sur les performances de MM.

3.4. Analyse de variance ANOVA

Conformément aux travaux de Durán-Jiménez et al., (2014), l'expression ANOVA ou Analyse de Variance est une méthode statistique qui est couramment appliquée pour catégoriser les variables et analyser la qualité de la conception. Dans ce présent travail, ANOVA est mis en évidence pour déduire les facteurs de contrôle qui ont un effet marquant sur le mécanisme d'adsorption, en évaluant leur contribution individuelle. Le Tableau 05 regroupe les résultats de calcul ANOVA :

Tableau 5. Degré de contribution des facteurs de contrôle.

Paramètres	Degré de contribution (%)	
	MB	MM
Température (°C)	0,86	0,56
pH	19,37	19,39
Concentration (mg/L)	67,19	68,70
Temps (min)	2,27	1,03
Erreur (%)	10,31	10,33

Au vu des résultats du Tableau 05, les facteurs les plus importants qui contribuent d'une manière significative sur le mécanisme d'adsorption du colorant BTB-VG sont : la concentration initiale et le pH de la solution. Par ailleurs, les proportions des contributions calculées, pour la concentration initiale du colorant à 500mg/L sont appréciables et atteignent les valeurs de 67,19 et 68,70% respectivement pour les matériaux brut et modifié. De même, le pH de la solution intervient d'une manière moins importante dans l'élimination du colorant BTB-VG, et sa contribution a été quantifiée à 19,37 et 19,38% respectivement pour les matériaux brut et modifié. D'autre part, les valeurs de contribution du temps de contact et de la température ont été relativement faibles pour les deux matériaux. Les valeurs enregistrées sont de l'ordre de 2,27%, 1,03%, et de 0,86%, 0,56% respectivement.

3.5. Confirmation des résultats obtenus par la méthode de Taguchi

Afin de valider les estimations prédictives des quantités adsorbées par la méthode de Taguchi, des tests de confirmation des facteurs de contrôle doivent être réalisés à des niveaux optimaux (Santra et al., 2014). Le calcul des quantités adsorbées du polluant BTB-VG sur MB et MM est exprimé par l'équation (02) de Taguchi :

$$Q_{e-opt} = m_t + \sum_{i=1}^n (n_i - m_t) \quad (02)$$

Avec :

m_t ; moyenne de l'ensemble des valeurs de Q_e obtenues à partir de l'étude expérimentale (Tableaux 06 et 07), n_i : valeurs moyennes du niveau optimale, n : nombre de variables opérationnelles.

Tableau 6. Valeurs moyennes des quantités adsorbées obtenues par l'étude expérimentale pour MB.

Niveau	Température (°C)	pH	Concentration (mg/L)	Temps (min)
1	18,503	28,058	4,367	14,242
2	15,022	13,812	7,401	15,313
3		8,418	38,519	20,732
Delta	3,480	19,640	34,153	6,490

Tableau 6. Valeurs moyennes des quantités adsorbées obtenues par l'étude expérimentale pour MM.

Niveau	Température (°C)	pH	Concentration (mg/L)	Temps (min)
1	19,707	36,746	5,323	18,169
2	23,365	14,672	9,156	22,331
3		13,190	50,128	24,108
Delta	3,658	23,556	44,805	5,938

Le Tableau 08 récapitule, la comparaison entre les résultats expérimentaux avec les valeurs prédites obtenues en utilisant le plan d'expérience établi par la méthode de Taguchi.

Tableau 8. Comparaison entre les résultats expérimentaux et résultats calculés par la méthode de Taguchi.

Biomatériaux	Optimum	Q_{e-Exp}	Q_{e-Pred}	Erreur (%)
MB	A1 B1 C3 D3	71,73	55,524	22,59
MM	A1 B1 C3 D3	79,04	64,30	18,64

4. Conclusion

Cette étude, qui s'inscrit dans le cadre général de la dépollution des eaux, a eu pour objectif la valorisation d'un déchet agroalimentaire dans le domaine de la dépollution des eaux. Le procédé d'adsorption a été choisi comme méthode d'épuration, et un colorant synthétique, utilisés dans de nombreux secteurs industriels, comme modèle de pollution.

Les résultats ont montré que la méthode Taguchi est une méthodologie fiable pour réduire les essais expérimentaux et gagner du temps. Cette méthode offre plus d'opportunités pour étudier l'interaction et la combinaison de différents paramètres, et les résultats obtenus peuvent être utilisés pour la recherche académique ainsi que pour des applications industrielles.

Remerciements

Les auteurs dédiés ce travail à feu le Professeur Ouali Mohand Said de l'Université d'Abdelhamid Ibn Badis - Mostaganem, qu'il repose en paix.

Références

- Aguedal H., Iddou A., and Locs J.**, (2018). Optimization of the Adsorption Process of Bezaktiv Turquoise Blue « VG » Textile Dye onto Diatomite Using the Taguchi Method. vol. 762, pp. 81–86, doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.762.81.
- Akar S. T., Özcan A. S., Akar T., Özcan A., and Kaynak Z.**, (2009). Biosorption of a reactive textile dye from aqueous solutions utilizing an agro-waste. *Desalination*, vol. 249, no. 2, pp. 757–761, doi: 10.1016/j.desal.2008.09.012.
- Aziz A., Ouali M. S., Elandaloussi E. H., De Menorval L. C., and Lindheimer M.**, (2009). Chemically modified olive stone: A low-cost sorbent for heavy metals and basic dyes removal from aqueous solutions. *J. Hazard. Mater.*, vol. 163, no. 1, pp. 441–447, doi: 10.1016/j.jhazmat.2008.06.117.
- Bayramoglu G. and Yakup Arica M.**, (2007). Biosorption of benzidine based textile dyes 'Direct Blue 1 and Direct Red 128' using native and heat-treated biomass of *Trametes versicolor*. *J. Hazard. Mater.*, vol. 143, no. 1–2, pp. 135–143, doi: 10.1016/j.jhazmat.2006.09.002.
- Bhatti H. N. and Nausheen S.**, (2014). Equilibrium and kinetic modeling for the removal of Turquoise Blue PG dye from aqueous solution by a low-cost agro waste. *Desalin. Water Treat.*, no. October, pp. 1–11, doi: 10.1080/19443994.2014.927799.
- Djafer A., Kouadri Moustefai S., Iddou A., and Si Ali B.**, (2014). Study of bimacid dye removal from aqueous solution: a comparative study between adsorption on pozzolana, bentonite, and biosorption on immobilized anaerobic sulfate-reducer cells. *Desalin. Water Treat.*, vol. 52, no. 40–42, pp. 7723–7732, doi: 10.1080/19443994.2013.833866.
- Durán-Jiménez G., Hernández-Montoya V., Montes-Morán M. A., Bonilla-Petriciolet A., and Rangel-Vázquez N. A.**, (2014). Adsorption of dyes with different molecular properties on activated carbons prepared from lignocellulosic wastes by Taguchi method. *Microporous Mesoporous Mater.*, vol. 199, pp. 99–107, doi: 10.1016/j.micromeso.2014.08.013.
- El Haddad M., Regti A., Slimani R., and Lazar S.**, (2014). Assessment of the biosorption kinetic and thermodynamic for the removal of safranin dye from aqueous solutions using calcined mussel shells. *J. Ind. Eng. Chem.*, vol. 20, no. 2, pp. 717–724, doi: 10.1016/j.jiec.2013.05.038.

- Iddou A. and Ouali M.S.**, (2005). Étude de l'élimination de Cr (VI) par une boue biologique après épandage. *Water Qual. Res. J. Canada*, vol. 40, no. 2, pp. 184–190.
- Iddou A., Hadj Youcef M., Aziz A., and Ouali M. S.**, (2011). Biosorptive removal of lead (II) ions from aqueous solutions using *Cystoseira stricta* biomass: Study of the surface modification effect. *J. Saudi Chem. Soc.*, vol. 15, no. 1, pp. 83–88, doi: 10.1016/j.jscs.2010.10.007.
- Kousha M., Daneshvar E., Sohrabi M. S., Jokar M., and Bhatnagar A.**, (2012). Adsorption of acid orange II dye by raw and chemically modified brown macroalga *Stoechospermum marginatum*. *Chem. Eng. J.*, vol. 192, pp. 67–76, doi: 10.1016/j.cej.2012.03.057.
- Reddad Z., Gerente C., Andres Y., and Le Cloirec P.**, (2002). Adsorption of Several Metal Ions onto a Low-Cost Biosorbent: Kinetic and Equilibrium Studies. *Environ. Sci. Technol.*, vol. 36, no. 9, pp. 2067–2073, doi: 10.1021/es0102989.
- Santra D., Joarder R., and Sarkar M.**, (2014). Taguchi design and equilibrium modeling for fluoride adsorption on cerium loaded cellulose nanocomposite bead. *Carbohydr. Polym.*, vol. 111, pp. 813–821, doi: 10.1016/j.carbpol.2014.05.040.
- Sheshdeh R. K., Nikou M. R. K., Badii K., Limaee N. Y., and Golkarnarenji G.**, (2014). Equilibrium and kinetics studies for the adsorption of Basic Red 46 on nickel oxide nanoparticles-modified diatomite in aqueous solutions. *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.*, vol. 45, no. 4, pp. 1792–1802, doi: 10.1016/j.jtice.2014.02.020.
- Yang, Y., Wang, G., Wang, B., Li, Z., Jia, X., Zhou, Q., & Zhao, Y.**, (2011). Biosorption of Acid Black 172 and Congo Red from aqueous solution by nonviable *Penicillium YW 01*: Kinetic study, equilibrium isotherm and artificial neural network modeling. *Bioresour. Technol.*, vol. 102, no. 2, pp. 828–834, doi: 10.1016/j.biortech.2010.08.125.
- Wang Y., Mu Y., Zhao Q. B., and Yu H. Q.**, (2006). Isotherms, kinetics and thermodynamics of dye biosorption by anaerobic sludge. *Sep. Purif. Technol.*, vol. 50, no. 1, pp. 1–7, doi: 10.1016/j.seppur.2005.10.012.