



Type of the Paper (Article)

Teneurs en éléments majeurs et traces de spirulines (*Arthrospira platensis*) originaires de France, Madagascar, Inde, Costa Rica et Equateur

Jean-Paul Vicat^{*1}, Jean-Claude Doumnang Mbaigane¹, Nadjilem Dingamtar Ndjadode¹, Roland Guideal¹, Yves Bellion²

¹ Laboratoire de Géologie, Géomorphologie et Télédétection (LGGT), Université de N'Djaména, BP 1027, N'Djaména, Tchad,

² UFR des Sciences Exactes et Sciences de la Nature, Laboratoire d'Hydrogéologie, Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse, 33 rue Louis Pasteur, 84000 Avignon, France
email : jpfv@hotmail.fr

Received: 11/06/2016 Revised: 11/07/2016 /Accepted: 15/07/2016

Résumé: Nous avons analysé six échantillons de spirulines commerciales. Les éléments majeurs ont été dosés par ICP-OES et les éléments traces par ICP-MS. Les concentrations en Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, P, Rb, Sr, Zn, éléments quantifiés dans tous les échantillons et en Si, Al, Ti, Ba, Cd, Ce, Co, Cr, Cu, Er, Hg, Ho, La, Lu, Mo, Nb, Nd, Ni, Pb, Pr, Sm, Sn, Ta, Th, U, V et Yb, quantifiés seulement dans certains échantillons, sont très variables. As, Ag, Be, Bi, Cs, Dy, Eu, Ga, Gd, Ge, Hf, In, Li, Sb, Tb, Tm, W, Y, Zr sont à des teneurs inférieures aux limites de détection. Une consommation usuelle de 5 g/j représente donc, selon l'élément et l'échantillon considéré, une proportion très variable de l'apport alimentaire moyen. Il n'y a cependant pas de risque de toxicité même avec une consommation de 10 g/j.

Mots clés: spirulines; éléments majeurs; éléments traces; consommation; apports quotidiens, toxicité

I. Introduction

Spirulines est le nom commercial des cyanobactéries alimentaires qui appartiennent au genre *Arthrospira*. Ce genre comprend seulement deux espèces, très proches, *Arthrospira maxima* originaire du Mexique et *Arthrospira platensis* originaire du Tchad [1]. La production de spiruline est en constante augmentation et dépasse aujourd'hui 8000 t/an. La composition des spirulines est remarquable [2, 3]. Elles contiennent en moyenne 70% de protéine, tous les acides aminés essentiels et des teneurs importantes en fer, en vitamines et en divers éléments nécessaires au corps humain ainsi que des agents antioxydants [4]. La spiruline est consommée soit comme un aliment pour ses effets thérapeutiques soit comme complément alimentaire des régimes pauvres en protéines et vitamines à la dose de 1g/j à 5 g/j. La dose de 10 g/j est utilisée par certains sportifs ou en cas de malnutrition sévère [4]. Si les teneurs en éléments organiques des spirulines sont bien connues [2-4] les données sur les éléments minéraux sont limitées [2, 5-14]. Or les spirulines sont connues pour concentrer les éléments capables de former des cations [15-24]. Elles concentrent donc aussi bien les oligoéléments essentiels ou nécessaires pour le corps humain que les éléments toxiques. Leur consommation peut donc poser un problème de santé si les apports maximaux tolérables sont dépassés pour certains éléments. Dans cet article nous donnons les teneurs en éléments majeurs et traces de spirulines, *Arthrospira platensis*, cultivées en France, à Madagascar, en Inde, en Equateur et au Costa-Rica et nous comparons les apports quotidiens dus à une consommation de 5 g/j à 10 g/j aux expositions moyennes d'origine alimentaire et aux valeurs toxicologiques de référence.

II. Matériel et méthodes

Les spirulines de France commercialisées sous forme de poudre (SP14) ou de paillettes (SP15) proviennent de fermes artisanales situées respectivement dans les départements de Loire-Atlantique et de l'Hérault. Les spirulines de l'Inde et de Madagascar conditionnées sous forme de poudre proviennent de fermes artisanales créées par des ONG pour lutter localement contre la malnutrition. Les spirulines de l'Equateur et du Costa-Rica, commercialisées sous forme de poudre, proviennent de fermes industrielles.

Les analyses ont été faites au Service d'Analyse des Roches et des Minéraux du Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques de Nancy (France). Les échantillons ont été préparés par fusion alcaline au LiBO_2 à 1000°C et mis en solution avec HNO_3 1N. Les éléments majeurs ont été dosés par ICP-OES et les éléments traces par ICP-MS. Les spectromètres sont calibrés par matériaux géologiques de référence et le contrôle qualité utilise les échantillons certifiés BCR 482 Lichen, BCR 279 Ulva et BCR 281 Rye Grass. Les incertitudes sont de 5% pour les concentrations supérieures à 10 mg/kg, inférieures à 15% pour les concentrations comprises entre 10 et 1 mg/kg et inférieures à 30% pour les concentrations inférieures à 1 mg/kg. Le mercure est dosé par absorption atomique selon la technique de l'amalgame avec une limite de détermination de 10 $\mu\text{g}/\text{kg}$.

III. Résultats

Le contenu en éléments majeurs est variable (**Tab. 1**). Les teneurs en Na (3,995 - 18,784 g/kg), K (13,559 - 18,645 g/kg), P (8,776 - 11,198 g/kg) et Mg (2,460 - 3,060 g/kg) sont élevées. Les teneurs en Ca (0,758 - 1,637 g/kg) et en Fe (0,410 - 0,701 g/kg) sont plus faibles. Les teneurs en Mn (0,008 - 0,081 g/kg) sont très variables. Le Ti n'est pas quantifié ($\text{Ti} < 0,030$ g/kg) sauf dans la spiruline de l'Equateur (0,084 g/kg). L'Al est quantifié (0,122 g/kg) dans les spirulines de France (SP15) et de l'Equateur. Le Si n'est pas quantifié ($\text{Si} < 0,234$ g/kg).

Tableau 1 : Teneurs en éléments majeurs (g/kg) des spirulines de France (SP14, SP15), Madagascar (SP19), Inde (SP21), Costa Rica (SP25) et Equateur (SP26)

	SP14	SP15	SP19	SP21	SP25	SP26
Si	<0.234	<0.234	<0.234	<0.234	<0.234	<0.234
Al	<0.040	0.122	<0.040	<0.040	<0.040	0.122
Fe	0.410	0.455	0.511	0.462	0.434	0.701
Mn	0.081	0.023	0.023	0.008	0.015	0.031
Mg	2.778	3.060	2.460	2.599	2.792	2.864
Ca	0.771	1.264	0.972	1.637	0.758	1.622
Na	12.064	11.567	18.784	14.488	9.384	3.995
K	13.559	15.152	17.408	18.288	18.645	16.121
Ti	<0.030	<0.030	<0.030	<0.030	<0.030	0.084
P	9.112	8.776	9.593	9.893	11.198	10.720

Les teneurs en éléments toxiques sont faibles (**Tab. 2**). Les teneurs en As sont inférieures à la limite de détection (<2,52 mg/kg). Le Cd (0,08 mg/kg) est quantifié seulement dans la spiruline de l'Equateur. Le Hg est quantifié dans les spirulines de Madagascar (0,011 mg/kg), de l'Inde (0,017 mg/kg) et dans la spiruline de France SP14 (0,025 mg/kg). Le Pb est quantifié dans les spirulines de l'Equateur (0,62 mg/kg) et du Costa-Rica (0,68 mg/kg).

Tableau 2 : Teneurs en éléments toxiques (mg/kg) des spirulines de France (SP14, SP15), Madagascar (SP19), Inde (SP21), Costa Rica (SP25) et Equateur (SP26)

	SP14	SP15	SP19	SP21	SP25	SP26
As	<2.52	<2.52	<2.52	<2.52	<2.52	<2.52
Cd	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.08
Hg	0.025	<0.010	0.011	0.017	<0.010	<0.010
Pb	<0.54	<0.54	<0.54	<0.54	0.68	0.62

Les autres éléments traces (**Tab. 3**) sont à des teneurs très variables. Tous les échantillons contiennent du Rb (2,67 - 8,38 mg/kg), du Sr (1,40 - 20,28 mg/kg) et du Zn (8,53 - 69,15 mg/kg). Le Ba est quantifié dans les spirulines de l'Equateur (3,68 mg/kg) et du Costa-Rica (15,90 mg/kg). Le Cr (10,88 mg/kg), le Nb (0,26 mg/kg) et le Ta (0,02 mg/kg) sont quantifiés seulement dans la spiruline de l'Equateur. Le Co est quantifié dans les spirulines de Madagascar (0,25 mg/kg), de l'Equateur (0,54 mg/kg) et dans la spiruline SP14 de France (0,55 mg/kg). Le Cu n'est pas quantifié dans les spirulines de Madagascar et du Costa-Rica. Les autres échantillons en contiennent des quantités très variables (6,43 - 169,20 mg/kg). Le Mo est quantifié dans les spirulines de France SP14 (0,17 mg/kg), de Madagascar (0,19 mg/kg) et de l'Equateur (0,52 mg/kg). Le Ni est quantifié seulement dans la spiruline de France SP14 (3,98 mg/kg). Le Sn est quantifié dans les spirulines de l'Equateur (0,98 mg/kg) et de l'Inde (23,16 mg/kg). Le Th est quantifié dans les spirulines de France SP15 (0,02 mg/kg), de l'Equateur (0,02 mg/kg) et de Madagascar (0,08 mg/kg). L'U est quantifié dans les spirulines de Madagascar (0,05 mg/kg) et de l'Inde (0,11 mg/kg). Le V est quantifié seulement dans la spiruline de l'Inde (14,96 mg/kg). Ag, Be, Bi, Cs, Ga, Ge, In, Li, Sb, W, Y, Zr sont à des teneurs inférieures aux limites de détection

Tableau 3 : Teneurs en éléments traces (mg/kg) des spirulines de France (SP14, SP15), Madagascar (SP19), Inde (SP21), Costa Rica (SP25) et Equateur (SP26)

	SP14	SP15	SP19	SP21	SP25	SP26
Ag	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06
Ba	<1.60	<1.60	<1.60	<1.60	15.9	3.68
Be	<0.13	<0.13	<0.13	<0.13	<0.13	<0.13
Bi	<0.33	<0.33	<0.33	<0.33	<0.33	<0.33
Co	0.55	<0.08	0.25	<0.08	<0.08	0.54
Cr	<1.33	<1.33	<1.33	<1.33	<1.33	10.88
Cs	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04
Cu	169.20	15.96	<0.80	7.981	<0.80	6.43
Ga	<0.24	<0.24	<0.24	<0.24	<0.24	<0.24
Ge	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Hf	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
In	<0.19	<0.19	<0.19	<0.19	<0.19	<0.19
Li	<0.14	<0.14	<0.14	<0.14	<0.14	<0.14
Mo	0.17	<0.15	0.193	<0.15	<0.15	0.52
Nb	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	0.26
Ni	3.98	<2.15	<2.15	<2.15	<2.15	<2.15
Rb	5.22	2.67	6.79	2.94	4.36	8.38
Sb	<0.19	<0.19	<0.19	<0.19	<0.19	<0.19
Sn	<0.59	<0.59	<0.59	23.16	<0.59	0.98
Sr	1.40	5.67	2.25	14.96	20.28	9.14
Ta	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.02
Th	<0.01	0.02	0.08	<0.01	<0.01	0.02
U	<0.01	<0.01	0.05	0.11	<0.01	<0.01
V	<0.31	<0.31	<0.31	14.96	<0.31	<0.31
W	<0.13	<0.13	<0.13	<0.13	<0.13	<0.13
Y	<0.39	<0.39	<0.39	<0.39	<0.39	<0.39
Zn	28.25	69.15	8.53	43.68	67.52	67.48
Zr	<0.96	<0.96	<0.96	<0.96	<0.96	<0.96

Le contenu en Terres Rares est très faible (**Tab. 4**). Eu, Gd, Tb et Dy sont à des teneurs inférieures aux limites de détection. Ce, Er, Ho, La, Lu, Nd, Pr, Sm et Yb ont parfois été quantifiés à de très faibles teneurs.

Tableau 4 : Teneurs en Terres Rares (mg/kg) des spirulines de France (SP14, SP15), Madagascar (SP19), Inde (SP21), Costa Rica (SP25) et Equateur (SP26)

	SP14	SP15	SP19	SP21	SP25	SP26
La	<0.069	0.085	<0.069	<0.069	<0.069	<0.069
Ce	<0.081	<0.081	<0.081	<0.081	<0.081	0.109
Pr	<0.005	0.020	<0.005	<0.005	<0.005	0.014
Nd	<0.015	0.072	0.017	<0.015	<0.015	0.050
Sm	<0.008	0.012	<0.008	<0.008	<0.008	0.011
Eu	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004
Gd	<0.016	<0.016	<0.016	<0.016	<0.016	<0.016
Tb	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008
Dy	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
Ho	<0.001	0.002	<0.001	<0.001	<0.001	0.002
Er	<0.003	0.004	0.005	<0.003	<0.003	0.004
Tm	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Yb	<0.003	0.005	0.007	<0.003	<0.003	0.005
Lu	<0.001	<0.001	0.002	<0.001	<0.001	<0.001

IV. Discussion

Les teneurs en éléments majeurs et traces se situent dans les fourchettes des données de la littérature [13].

Les apports en éléments majeurs, calculés pour une consommation de spiruline de 5 g/j, apparaissent variables. Les apports en Na (0,02 - 0,09 g/j) représentent 0,75% à 3,4% de l'apport alimentaire moyen (2,65 g/j) de la population française [25]. Bien que faible cet apport en Na est superflu car l'apport alimentaire moyen est déjà supérieur à la consommation moyenne recommandée (2 g/j) [26]. Les apports en K (0,07 - 0,09 g/j) représentent 2,5% à 3% de l'apport alimentaire moyen (2,85 g/j) de la population française [25]. Les apports en P (46 à 54 mg/j) représentent 7% à 8% environ de l'apport quotidien de référence fixé à 700 mg/j [27]. Les apports en Mg (12-15 mg/j) représentent environ 4 % de l'apport quotidien de référence fixé à 375 mg/j [27]. Les apports en Fe (2 - 4 mg/j) sont très importants et représentent 22% à 44% de l'apport nutritionnel conseillé (ANC) (9 mg/j) pour un homme adulte et 13% à 25% de l'ANC (16 mg/j) pour une femme non ménopausée [25]. Même avec une consommation de spiruline de 10 g/j il n'y a pas de risque d'atteindre la limite de sécurité fixée pour le Fe à 28 mg/j [28]. Les apports en Mn (0,04 - 0,41 mg/j) sont très variables et représentent 2% (spiruline de l'Inde) à 20% (spiruline de France SP14) de l'apport quotidien de référence fixé à 2 mg/j [27]. Les apports en Ca (4 - 8 mg/j) sont faibles et représentent seulement 0,5% à 1% de l'apport quotidien de référence fixé à 800 mg/j [27]. L'apport en Ti de la spiruline de l'Equateur (0,42 mg/j) est important. Il représente une part très variable (21% à 140%) de l'apport quotidien estimé de 2 mg/j à 0,3 mg/j selon le régime alimentaire [29]. Le Ti d'origine alimentaire étant considéré comme sans d'effets toxiques il n'existe pas de valeur toxicologique de référence [30]. L'apport quotidien en Al des spirulines de l'Equateur et de France (SP15) (0,6 mg) représente 21 % de l'apport alimentaire moyen de la population française estimé à 2,8 mg/j pour un poids corporel de 70 kg ($pc=70$) [25]. Avec une dose hebdomadaire tolérable provisoire (DHTP) de 2 mg/kg pc [31] la consommation de ces spirulines ne présente pas de danger malgré la toxicité potentielle de l'aluminium.

Les teneurs en éléments toxiques (As, Cd, Hg, Pb) sont faibles. L'As n'est pas quantifié (As<2,52 mg/kg), Cd, Hg et Pb sont, lorsqu'ils sont quantifiés, à des teneurs inférieures aux normes française de qualité, respectivement 0,5, 0,1 et 5 mg/kg [4]. La teneur en Sn de la spiruline de l'Equateur (0,98 mg/kg) est inférieure à la norme française de qualité des spirulines (5 mg/kg) [4] et celle de la spiruline de l'Inde (23,16 mg/kg) est largement supérieure. En terme de santé il faut relativiser le risque car même avec une consommation de 10 g/j l'apport en Sn (232 µg/j) reste faible devant la DHTP fixée à 14 mg/kg pc [32].

Les apports en métaux sont très variables. Avec une consommation de 5 g/j les apports en Co (1 - 3 µg/j) des spirulines de Madagascar, de l'Equateur et de France (SP14) sont très faibles par rapport à la borne basse de la dose journalière tolérable (DJT) fixée à 112 µg/j [25]. L'apport en Cr de la spiruline de l'Equateur (54 µg/j) représente 20% de l'apport alimentaire moyen de la population française estimé à 277 µg/j de Cr total [25]. Mis à part les spirulines de Madagascar et du Costa-Rica les apports en Cu (0,032 - 0,846 mg/j) représentent 1,6% à 43,6 % de l'apport alimentaire moyen de la population française estimé à 1,94 mg/j [25]. Il n'y a pas de risque de dépasser la limite de sécurité fixée à 5 mg/j [33] même avec une consommation de 10 g/j de la spiruline de France SP14, la plus riche en Cu. Mis à part les spirulines de l'Inde et du Costa-Rica les apports en Mo (1 - 3 µg/j) représentent 2% à 6% de l'apport quotidien de référence fixé à 50 µg/j [27]. L'apport quotidien en Nb, élément sans rôle biologique connu, de la spiruline de l'Equateur est insignifiant (1 µg/j). L'apport en Ni de la spiruline de France SP14 (20 µg/j) est très faible par rapport à la DJT fixée à 1,54 mg/j_(pc=70) [34]. L'apport en V (75 µg/j) de la spiruline de l'Inde est supérieur à l'apport alimentaire moyen de la population française estimé à 60 µg/j_(pc=70) [25]. Avec un apport maximal tolérable fixé à 1,8 mg/j [35] la consommation de la spiruline de l'Inde ne présente cependant pas de danger même à la dose de 10 g/j. L'apport en Zn (0,043 - 0,346 mg/j) est faible et représente 0,4% à 3% de l'apport quotidien de référence fixé à 10 mg/j [27].

Les apports en alcalins sont faibles. Avec une consommation de 5 g/j l'apport en Rb est de 13 µg/j à 42 µg/j. Le Rb ne présente pas de toxicité même à des doses beaucoup plus élevées [36]. L'apport en Sr (7 - 101 µg/j) représente seulement 0,4% à 0,6% de l'apport alimentaire moyen de la population française estimé à 1,65 mg/j_(pc=70) [25]. Les apports en Ba des spirulines de l'Equateur (18µg/j) et du Costa-Rica (80 µg/j) représentent 4% à 18% de l'apport alimentaire moyen de la population française estimé à 448 µg/j_(pc=70) [25]. Même avec une consommation de 10 g/j les apports sont très faibles comparés aux doses de référence du Sr et du Ba fixées respectivement à 42 mg/j_(pc=70) [37] et 14 mg/j_(pc=70 kg) [38]. Les apports en Ta, Th, U (<1 µg/j) et en Terres Rares (0 - 1,985 µg/j) sont insignifiants.

V. Conclusion

Les spirulines analysées ont des teneurs en éléments majeurs et traces très diverses. Les apports dus à une consommation de 5 g/j de spiruline sont donc très variables selon l'élément considéré. Sans préjuger d'éventuels effets "cocktail", qui restent inconnus, une consommation de 5 g/j, voire de 10 g/j, ne présente pas de risque en terme de toxicité. Les spirulines constituent une bonne source de Fe et plus accessoirement de P, Mn, Mg et K. Les apports en Ca et Zn sont faibles et les apports en Na sont superflus. Les apports en Rb et Sr ne sont pas nécessaires. Pour les autres éléments quantifiés seulement dans certains échantillons, il n'est pas possible de savoir *a priori* quels sont les oligoéléments utiles apportés par les spirulines.

VI. Références

- [1] Manen, J.; Falquet, J. (2002). The *cpcB-cpcA* locus as a tool for the genetic characterization of the genus *Arthrospira* (Cyanobacteria): evidence for horizontal transfer. *Int J. Syst. Evol. Microbiol.*, 52, (2002) 861-867.
- [2] Ciferri, O. Spirulina, the edible microorganism. *Microbiol. Rev.*, 47, (1983) 551-578.
- [3] Falquet, J.; Urni, JP. Spiruline. Aspects nutritionnels. Ed. Antenna Technologies, Genève, Suisse, 2006, pp. 4-19.
- [4] Cruchot, H. La spiruline - Bilan et perspectives. Thèse doctorat Pharmacie, Univ. de Franche-Comté, Mai, 2008.
- [5] Boudène, C.; Collas, E.; Jenkins, C. Recherche et dosage de divers toxiques minéraux dans les algues spirulines de différentes origines, et évaluation de la toxicité à long terme chez le rat d'un lot d'algues spirulines de provenance mexicaine. *Ann. Nutr. Aliment.*, 29, (1975) 577-587.
- [6] Campanella, L.; Crescentini, G.; Avino, P.; Moauro, A. Determination of macrominerals and trace elements in the alga *Spirulina platensis*. *Analisis*, 26, (1998) 210-214.
- [7] Campanella, L.; Crescentini, G.; Avino, P. Chemical composition and nutritional evaluation of some natural and commercial food products based on *Spirulina*. *Analisis*, 27, (1999) 533-540.
- [8] Dillon, J.; Phuc, A.; Dubacq, J. Nutritional value of the alga *Spirulina*. *World Rev. Nutr. Diet.*, 77, (1995) 32-46.

- [9] Johnson, PE.; Shubert, LE. Accumulation of mercury and other elements by *Spirulina* (Cyanophyceae). *Nutr. Rep. Int.*, 34 (1986) 1063-1070.
- [10] Mannino, S.; Benelli, TG. (1980). Constituenti minerali di biomasse di *Spirulina maxima*. In : *Prospettive della cultura di spirulina in Italia.*; Materassi R. éd.; CNR:Rome, Italie, 1980; pp. 131-135.
- [11] Ortega-Calvo, JC.; Mazuelos, C.; Hermosim, B.; Saiz-Jimenez, CJ. Chemical composition of *Spirulina* and eukaryotic algae food products marketed in Spain. *J. Appl. Phycol.*, 5 (1993) 425-435.
- [12] Shao, WJ. Determination of rare earth elements in laver and spirulina by ICP MS. *The Beverage Industry*, 04 (2009) 44-45.
- [13] Vicat, JP.; Doumnang Mbaigane, JC.; Bellion, Y. Teneurs en éléments majeurs et traces de spirulines (*Arthrospira platensis*) originaires de France, du Tchad, du Togo, du Niger, du Mali, du Burkina-Faso et de République centrafricaine. *C. R. Biologies*, 337 (2014) 44-52.
- [14] Vicat, JP.; Doumnang Mbaigane, JC.; Bellion, Y. Teneurs en Si, Al et Ti des spirulines (*Arthrospira platensis*) commerciales cultivées en France. *Research.fr.*, (2014), URL: <http://dx.doi.org/10.13070/rs.fr.1.1089>.
- [15] Cogné, G.; Lehmann, B.; Dussap, CG.; Gros, JB. Uptake of Macrominerals and Trace Elements by the Cyanobacterium *Spirulina platensis* (Arthrospira platensis PCC 8005) under Photoautotrophic Conditions. *Culture Medium Optimization. Biothechnol. Bioeng.*, 81:5 (2008) 588-593.
- [16] Rangsayatorn, N.; Pokethitiyook, P.; Upatham, ES.; Lanza, GR. Cadmium biosorption by cells of *Spirulina platensis* TISTR 8217 immobilized in alginate and silica. *Gel. Environ* 301 (2004) 57-63.
- [17] Jagietto, M.; Mint, E.; Chojnacka, K.; Kafarski, P. Mode of Biosorption of Chromium III by *Spirulina* Species Cells from Aqueous Solutions. *Water Environment Research*, 78:7 (2006) 740-743.
- [18] Solisio, C.; Lodi, A.; Torre, P.; Converti, A.; Del Borghi, M. Copper removal by dry and re-hydrated biomass of *Spirulina platensis*. *Bioresour Technol.*, 97:14 (2006) 1756- 1760
- [19] Vannela, R.; Verma, SK. Co²⁺, Cu²⁺, and Zn²⁺ Accumulation by cyanobacterium *Spirulina platensis*. *Biotechnol Prog.*, 22:5 (2006) 1282-1293.
- [20] Frontasyeva, MV.; Pavlov, SS.; Mosulishvili, L.; Kirkesali, E.; Ginturi, E.; Kuchava N. Accumulation of trace elements by biological matrice of *Spirulina platensis*. *Ecological Chemistry and Engineering S.*, 16:3 (2009) 277-285.
- [21] Al-Dhabi, NA. Heavy metal analysis in commercial *Spirulina* products for human consumption. *Saudi J. of Biological Sci.*, 20 (2013) 383-388.
- [22] Zinicovscaia, I.; Duca, G.; Rudic, V.; Cepoi, L.; Chiriac, T.; Frontasyeva, MV.; Pavlov, SS.; Gundorina, SF. *Spirulina platensis* as biosorbent of zinc in water. *Environmental Engineering and Management J.*, 12:5 (2013) 1079-1084.
- [23] Al-Homaidan, AA.; Al-Houri, HJ.; Al-Hazzani, AA.; Elgaaly, G.; Moubayed, NMS. Biosorption of copper ions from aqueous solutions by *Spirulina platensis* biomass. *Arabian J. of Chemistry*, 7:1 (2014) 57-62.
- [24] Zinicovscaia, I.; Cepoi, L.; Chiriac, T.; Culicov, OA.; Frontasyeva, MV.; Pavlov, SS.; Kirkesali, E.; Akshintsev, A.; Rodlovskaya E. (2015). *Spirulina platensis* as biosorbent of chromium and nickel from industrial effluents. *Desalination and Water Treatmen.*, 05 (2015) 1-8.
- [25] ANSES. Étude de l'alimentation totale française 2 (EAT 2), Tome 1, Contaminants inorganiques, minéraux, polluants organiques persistants, mycotoxines, phyto- estrogènes. Avis de l'ANSES. Rapport d'expertise, juin 2011; pp.70-71.
- [26] WHO. Reducing salt intake in populations. Report of a WHO Forum and Technical meeting, Paris, France, 5-7 octobre 2006; pp. 46.
- [27] JOUE. Règlement (UE) No 1169/2011 du Parlement européen et du Conseil du 25 octobre 2011. *Journal officiel de l'Union européenne*, l. 304, 2011; pp. 61.
- [28] Coudray C, Hercberg S. Fer. In : *Apports nutritionnels conseillés pour la population français*, 3^e éd.; Lavoisier, Ed.; Tec&Doc, Paris, France, 2001; pp. 150-155.
- [29] WHO. Environmental Health Criteria Monographs. Titanium. Geneva, Suisse, WHO Report No 24, 1982; § 4.4.
- [30] Murphy, M.; Dryburgh, F.; Shepherd, J. Regional and supraregional biochemistry services in Scotland: a survey of hospital laboratory users. *J. Clin. Pathol.*, 47 (1994) 395-398.
- [31] JECFA. Evaluation of certain food additives and contaminants. Seventy-fourth report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. WHO Technical Report Series No 966, 2011; pp. 97.
- [32] JECFA. Evaluation of certain food additives and contaminants. Thirty-third report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. WHO Technical Report Series, No. 776, 1989; pp. 51-53.
- [33] EFSA. Tolerable Upper Intake Levels for Vitamins and Minerals. Scientific Committee on Food. Scientific Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies, European Food Safety Authority, 2006; pp. 201-206.
- [34] WHO. Nickel in Drinking-water. Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality, 2005; pp.15-16.

- [35] IOM. (2001). Dietary reference intakes for vitamin A, vitamin K, arsenic, boron, chromium, copper, iodine, iron, manganese, molybdenum, nickel, silicon, vanadium and zinc. Institute of Medicine (USA), Panel on Micronutrients. Washington (DC): National Academies Press (USA), Publisher and Distributor.
- [36] Fieve, RR.; Meltzer, HL.; Taylor, RM. Rubidium chloride ingestion by volunteer subjects: Initial experience. *Psychopharmacologia*, 20:4 (1971) 307–314.
- [37] USEPA. Strontium (CASRN 7440-24-6). US Environmental Protection Agency, Integrated Risk Information System, Washington, DC, USA, 1996; pp.1-2.
- [38] USEPA. Toxicological review of Barium and compounds (CASRN 7440-39-3). US Environmental Protection Agency, Integrated Risk Information System, Washington, DC, USA, 2005; pp. 149-151.

Please cite this Article as:

Jean-Paul Vicat, Jean-Claude Doumnang Mbaigane, Nadjilem Dingamtar Ndjadode, Roland Guideal, Yves Bellion Teneurs en éléments majeurs et traces de spirulines (*Arthrospira platensis*) originaires de France, Madagascar, Inde, Costa Rica et Equateur, ***Algerian J. Nat. Products*, 4:2 (2016) 292-298.**

www.univ-bejaia.dz/ajnp

Online ISSN: 2353-0391

Editor in chief: Prof. Kamel BELHAMEL