



Journal Homepage: [-www.journalijar.com](http://www.journalijar.com)

INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED RESEARCH (IJAR)

Article DOI:10.21474/IJAR01/20595

DOI URL: <http://dx.doi.org/10.21474/IJAR01/20595>



RESEARCH ARTICLE

IMPACTS DES PARAMETRES PHYSICO CHIMIQUES SUR LA PRODUCTION DE LA SPIRULINE ENDEMIQUE AU TCHAD (SPIRULINA PLATENSIS (GOMONT) GEITLER, OSCILLATORIACEAE) DANS LE WADI D'ARTOMOSSI (PROVINCE DU LAC)

Djekota Christophe Ngarmari, Medingam Paulin, Mbayngone Elisée, Olbom Jean and Rogoum Tédébaye
Université de N'Djaména, Faculté des Sciences Exactes et Appliquées, Laboratoire de Botanique Systématique et d'Écologie Végétale, B.P. 1027, N'Djaména/Tchad.

Manuscript Info

Manuscript History

Received: 14 January 2025

Final Accepted: 17 February 2025

Published: March 2025

Key words:-

Spirulina Platensis, Endemic Species, Production Parameter, Traditional Farm, Chad

Abstract

Spirulina (*Spirulina platensis*) is one of the most widely used algae because of its protein content. In Chad, the women of the Kanembou community traditionally exploit the spirulina algae that grew spontaneously there. In Artomossi, it is in a brackish water wadi (pond) where this spirulina naturally grows. It is the fluctuation of the physico-chemical parameters of this brackish water and the socio-cultural constraints that do not favour this production in order to cover the quantity and quality of consumer demand. The physicochemical parameters of this water are studied in order to assess their impact on the production of this spirulina. Twenty-three women producers, belonging to six groups, were surveyed. Regardless of the season during the year and the variability of the physicochemical parameters of this brackish water, the production of Artomossi spirulina is optimal early in the morning before sunrise. Depending on the season, the "small harvest" period extends from April to September; and the "great harvest" period extends from October to March. When the pH > 9.5 and the daytime temperature > 18°C, the production of Artomossi spirulina is optimal. These values show that this living environment is alkaline-like. The average artisanal production is 3.75 kg/day/producer during the small harvest period and 6.6 kg/day/producer during the major harvest period; i.e. 10.35 kg/year/producer of dry spirulina. Such results are a prerequisite for support for this sector in Chad and sustainable management of this resource.

"© 2025 by the Author(s). Published by IJAR under CC BY 4.0. Unrestricted use allowed with credit to the author."

Introduction:-

Les ressources naturelles sont des patrimoines non produits par l'Homme et susceptibles d'être développées à des fins de création de richesse (Kumeh, 2017). Leur disponibilité varie en fonction des changements climatiques et de l'ampleur de leur exploitation (Benkahla et al., 2013). Le Tchad dispose d'abondantes ressources naturelles (MEERH, 2009). La configuration bioclimatique qui lui confère une richesse floristique exceptionnelle dont celle mise en évidence de nos jours est de plus de 2 173 espèces réparties dans 131 familles (Brundu et al., 2013 ; Mélom et al., 2015).

Corresponding Author:- Djekota Christophe

Address:- Université de N'Djaména, Faculté des Sciences Exactes et Appliquées, Laboratoire de Botanique Systématique et d'Écologie Végétale, B.P. 1027, N'Djaména/Tchad.

Selon le 4^{ème} Rapport National sur la Biodiversité (MEERH, 2009), le Tchad dispose d'un potentiel énorme de ressources en eaux, soit environ 500 milliards de mètres cube, répartis dans différents aquifères. Les eaux de surface sont constituées de deux principaux cours d'eaux permanents (le Chari avec 1 200 km et le Logone 1000 km) auxquels s'ajoutent des cours d'eaux semi-permanents et temporaires et une dizaine de lacs dont le plus important est le Lac Tchad (Raimond et al., 2019). Certains de ces lacs qui renferment outre les ressources halieutiques et la faune aquatique, abritent aussi la spiruline (*Spirulina platensis* (Gomont) Geitler, Oscillatoriaceae) qui est une algue endémique dans la Province du Lac Tchad.

C'est une algue microscopique de forme spiralée qui se développe naturellement dans les eaux saumâtres des wadis (bras morts du lac ou mares) dans le bassin du Lac Tchad. La spiruline est une ressource naturelle qui contribue au développement durable par la création de la richesse et d'emplois (Gonnet, 2006). Elle est produite et exploitée exclusivement de manière artisanale par une catégorie de femmes marginalisée de la communauté kanembou, c'est-à-dire les femmes des forgerons, griots et des pêcheurs (Médinam, 2020). Son exploitation met en valeur les savoirs traditionnels locaux entretenus depuis des générations qui révèlent une grande richesse et une source de résilience pour cette société (Bucofore, 2020). C'est une ressource qui est utilisée depuis longtemps comme complément alimentaire par cette communauté. Son exploitation génère des revenus significatifs au profit de ces femmes productrices. La spiruline constitue, pour ces femmes vulnérables d'Artomossi, une ressource naturelle disponible comme moyen de survie vitale. Pendant la saison sèche comme celle des pluies, sa production demeure régulière.

Selon les estimations du Projet Pilote de développement de la filière «Dihé» au Tchad, la production totale de «Dihé» appuyés par ce projet est estimée à environ 388,8 tonnes/an. Cette production représente 4,8% de la production mondiale (8 000 tonnes/an) de la spiruline (MEERH, 2009). En poids sec, la spiruline contient en moyenne 50 à 70% de protéines, 15 à 25% de glucides, 11% de lipides ainsi que des vitamines, des minéraux, de la chlorophylle et des phycobiline protéiniques (Vonshak et al., 1985 ; Falquet et al., 2006 ; Charpy et al., 2008). Plusieurs auteurs ont confirmé les effets thérapeutiques et nutritionnels de la spiruline (Lecointre, 2017 ; Sguera, 2002 ; Goulamabasse, 2018). Malgré son importance alimentaire, la ressource est soumise à des nombreux facteurs de dégradation de son milieu de vie.

Selon Gonnet (2006) la spiruline du Tchad est l'une des plus étonnantes richesses qui concerne un écosystème unique, resplendissant et fragile, entouré par une biodiversité remarquable dans une société humaine riche en savoirs. La mare (wadi) d'Artomossi, dispose d'un potentiel important en spiruline du pays (Médinam, 2020). Reconnaissant que la pauvreté, le manque de sensibilisation et l'insécurité combinée aux changements climatiques menacent le bien être humain, plusieurs institutions tentent d'y intervenir en appuis aux productrices de la spiruline d'Artomossi, à savoir : BIOPALT, UNESCO, SOS-Sahel, Eden Project, Université de N'Djaména. Ces différents appuis sont orientés vers la production et l'amélioration de la qualité du produit. Pourtant, de nombreux facteurs naturels impactent négativement la productivité du produit dans ce contexte de changement climatique. Parmi ceux-ci, nous pouvons citer le vent, les paramètres physico-chimiques de l'eau, l'expansion des plantes envahissantes, l'ensablement et le tarissement de la mare d'Artomossi. A ces facteurs naturels l'on peut ajouter d'autres contraintes telles que le caractère informel de la filière à tous les maillons, la faiblesse des technologies d'exploitation et de transformation et le faible développement du marché de la spiruline tant au niveau national qu'extérieur (Bucofore, 2020).

Au Tchad, la filière spiruline n'a pas bénéficié d'un appui conséquent à cause de la méconnaissance de son potentiel. Pourtant c'est une filière qui contribue à la sécurité alimentaire, à l'accroissement des revenus des populations et à la création d'emplois si l'on assure une gestion durable et sa valorisation dans la province du Lac. Sa production est étroitement dépendante des paramètres physico chimiques de son milieu de vie qui sont très peu maîtrisables. Cette étude évalue les impacts des paramètres physico chimiques de l'eau (pH, taux des substances dissoutes et température) sur la production de la spiruline (*Spirulina platensis*), endémique du Tchad et les étapes de sa production.

Materiel Et Methodes:-

Matériel:-

Localisation de la zone d'étude

Le wadi d'Artomossi se trouve dans le canton Isséïrom dans le Département de Kouloudia dans la Province du Lac. Ses coordonnées géographiques sont 13° 39'25'' N et 015° 06'99'' E, pour une altitude de 279 m. Il est encadré par deux bras du grand Lac Tchad situés à l'Est et à l'Ouest.

Le climat est de type tropical sec avec une alternance de saison sèche longue de 8 à 9 mois et une courte saison des pluies de 3 à 4 mois. La saison de pluie commence de juin à septembre tandis que celle sèche va d'octobre à mai. La pluviométrie moyenne des vingt dernières années (2001-2020) est de 294,51 mm (OSS, 2015). Les températures diurnes sont élevées de mars à mai ($28^{\circ} \pm 11^{\circ}\text{C}$) et relativement basses ($24^{\circ} \pm 3^{\circ}\text{C}$) de décembre à février (Ozer et al., 2005).

Le sol est limono-argileux et contient du natron. Les formations végétales de la zone sont essentiellement steppiques ouvertes, dominées par une flore xérophytique (Abderaman, 1992).

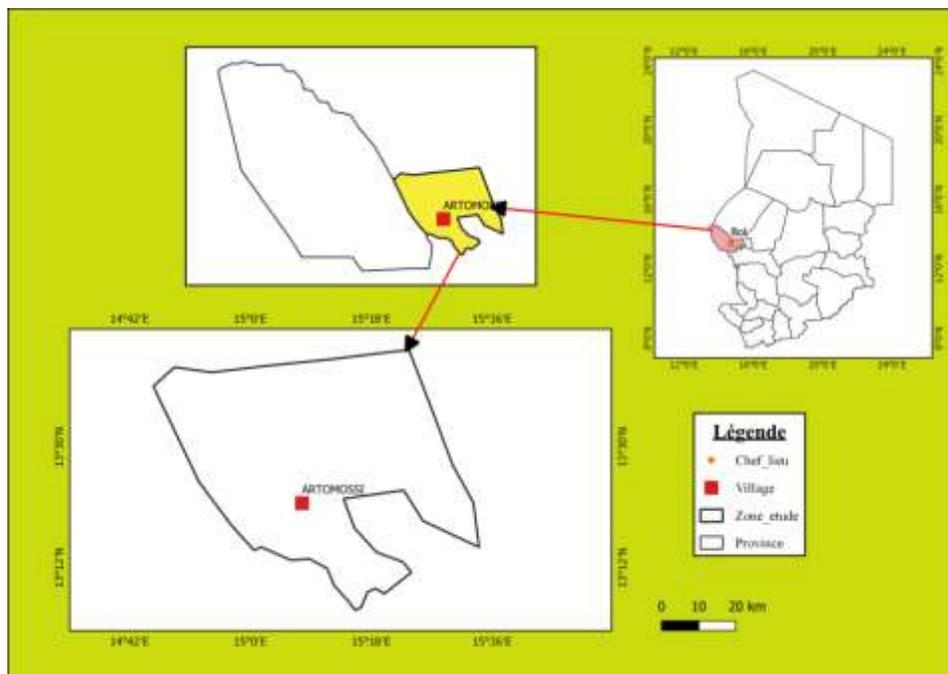


Fig. 1:-Localisation du wadi d'Artomossi.

La principale activité des populations dans cette zone est l'élevage et accessoirement l'agriculture.

La population du village Artomossi est constituée essentiellement des sous-groupes de l'ethnie Kanembou (INSEED, 2009). Ces sous-groupes ethniques à Artomossi sont en majorités des Bonians suivies de Kangou, Kouhiri, Kafa, Kehi, Goumbrou, Magguie et de Koräi.

Matériel biologique

Le matériel biologique est constitué des échantillons frais ou secs de la spiruline (*Spirulina platensis*) récoltés sur le plan d'eau (wadi) par les productrices de cette ressource. *Spirulina platensis* (Comont) Geitler est une algue microscopique de forme spiralée qui est une cyanobactérie (anciennement désignée par le terme « algue bleue » puis cyanophycée). Elle appartient au domaine des bactéries (Bacteria) embranchement des Cyanophyta et se classe parmi les bactéries gram négatives. Les cyanobactéries forment l'essentiel des bactéries capables de photosynthèse et peuvent être unicellulaires ou pluricellulaires. La spiruline appartient à l'ordre des Nostocales (Oscillatoriales), la famille des Oscillatoriaceae et au genre *Spirulina* ou *Arthrospira* (Geitler, 1932 ; Charpy et al. 2008).

En effet, elle se présente sous la forme d'un filament pluricellulaire (appelé trichome) bleu-vert, mobile, non ramifié et enroulé en spirale. Ce filament de forme hélicoïdale est observable uniquement en milieu liquide au microscope. Il caractérise le genre (Geitler, 1932). La taille de la spiruline varie suivant la souche et les conditions de culture. Cependant, on observe une longueur moyenne du filament de l'ordre de 250 µm et avec un diamètre d'environ 10 µm.

La taille de la spiruline varie suivant la souche et les conditions de culture. Cependant, on observe une longueur moyenne du filament de l'ordre de 250 µm et avec un diamètre d'environ 10 µm. Il existe deux (2) espèces principales de la spiruline :

- La *Spirulina platensis* du Tchad : la plus connue et la plus cultivée. Elle a une longueur qui peut atteindre 350 µm et un diamètre compris entre 6 et 12,45 µm ;
- La *Spirulina maxima* du Mexique : elle se caractérise par des trichomes de 70 à 80 µm de long et de 7 à 9 µm de diamètre, légèrement effilés aux extrémités.

Parmi ces 2 espèces, c'est la *Spirulina platensis* qui est endémique au Tchad. Elle est la plus connue et la plus cultivée. Elle a une longueur qui peut atteindre 350 µm et un diamètre compris entre 6 et 12,45 µm.

Méthodes:-

Données sur la production et le traitement de la spiruline

Des entretiens en focus groupe et le suivi des activités de récolte de spiruline auprès de vingt-trois (23) productrices choisies de manière aléatoire, appartenant à six (06) groupements ont répondu à nos questions respectivement aux cours des 2 saisons de récolte de spiruline allant de mars à décembre et de mai à juin. Cette phase a été précédée par des entretiens avec les autorités locales (chef de village et chef de terre). Pour la pesée de la biomasse de la spiruline récoltée, c'est la balance qui a été utilisée.

Données sur les paramètres physico-chimiques de l'eau

Les paramètres physico-chimiques de l'eau (température, pH et taux des substances dissoutes) c'est-à-dire les caractéristiques du milieu de vie de la spiruline ont été mesurés par l'appareil de mesure multi-paramètres.

Les échantillons d'eau destinés à l'analyse physico-chimique sont prélevés à l'aide d'un flacon de 750 ml nettoyé par rinçage (trois fois) avec l'eau à prélever. Au bord du wadi, par la méthode photométrique, les électrodes (ou bout des appareils électroniques (turbidimètre et DR 2400/UV-visible) sont plongés dans le flacon contenant l'échantillon d'eau prélevée. Ces opérations de prélèvement d'échantillon d'eau et mesure de paramètres physico-chimiques ont été effectuées avant la récolte de la spiruline par les productrices en 08 points pendant la saison de petite récolte et 08 points pendant la saison de grande récolte.

Resultats:-

Caractéristiques socio-professionnelles des productrices de la spiruline à Artomossi

Sur un échantillon de vingt-trois (23) productrices de spiruline interviewées, les productrices qui ont l'âge compris entre 41 à 60 ans représentent (34,8 %). Elles sont suivies des jeunes filles de 8 à 15 ans (30,4 %). Les tranches d'âge de 16 à 25 ans et 26 à 40 ont enregistré des valeurs identiques.

Les longues années d'expériences des femmes enquêtées varient de 16 à 30 ans soit 39,1 % de notre échantillon. Les plus courtes expériences (2 à 5 ans) représentent 34,7 % et l'expérience moyenne (6 à 10 ans) enregistre 26,1 %.

Dans la zone d'étude, la production de spiruline est un domaine d'activités féminines réservées à un groupe social endogame et marginalisé en tant qu'une profession héréditaire. Ce groupe social occupe un rang déterminé dans la hiérarchie de la communauté Kanembou. Dans cet esprit de marginalisation, autrefois, les productrices de la spiruline n'avaient pas le droit de posséder les biens tels que les charrues, les charrettes asines, les chevaux, les dromadaires, propriétaires des petits ruminants, de la volaille qui prédominaient au sein de la classe des nobles.

L'une des deux (2) périodes situées entre octobre-mars pendant laquelle le harmattan (vent dominant) draine la spiruline sur les berges du côté Sud appelé localement "Brandji". L'autre période située entre avril-septembre pendant laquelle la mousson (vent dominant) draine la spiruline sur les berges côté Nord appelé localement "Kiri".

Biomasse de la spiruline à Artomossi**Période de petite récolte : avril à septembre**

A partir d'aujourd'hui d'avril à septembre 58,9% des productrices ont récolté entre 7,5 à 14 kg/jour de spiruline (poids frais après filtrage) pour obtenir 1,5 à 2,8 kg de poids sec. 29,4% ont récolté entre 15 à 28 kg/jour pour obtenir 2,2 à 5,6 kg de poids sec. 11,7 % ont récolté entre 17 à 33,5 kg/jour pour obtenir 3,4 à 6,7 kg de poids sec. Les intempéries en cette période de l'année compliquent le séchage artisanal qui ne se fait pas sous abri.

Période de grande récolte : octobre à mars

A partir d'aujourd'hui d'octobre à mars, 39,2% des productrices ont récolté entre 41 à 50 kg/jour de spiruline (poids frais après filtrage) pour obtenir 8,2 à 10 kg de poids sec. 34,5% ont récolté entre 31 à 40 kg/jour pour obtenir 6,2 à 8 kg de poids sec. 17,4 % ont récolté entre 23 à 30 kg/jour pour obtenir 4,6 à 6 kg de poids sec. 8,9% ont récolté plus de 50 kg pour obtenir plus 10 kg de poids sec.

Ces mesures de poids frais et poids sec montrent que la spiruline filtrée perd environ 80% de son poids frais au séchage. Ces résultats montrent que la capacité de production artisanale de spiruline sèche varie de 2,4 à 5,1 kg ; soit en moyenne 3,75 kg par jour par productrice en période de petite récolte (avril à septembre) et 4,6 à 8,7 kg ; soit en moyenne 6,6 kg par jour par productrice en période de grande récolte (octobre à mars). La production moyenne annuelle (petite et grande récolte) par productrice est estimée à 10,35 kg de spiruline sèche. A raison d'une production moyenne de 10,35 kg/productrice/an de spiruline sèche, l'échantillon des 23 productrices enquêtées produiraient 238 kg/an de spiruline sèche à Artomossi. Mais la prolifération des plantes envahissantes sur environ 1/5 du plan d'eau du wadi compliquent la récolte par endroit.

Paramètres physico chimiques de l'eau (milieu de vie) de la spiruline à Artomossi

Dans la mare d'Artomossi, la température de l'eau enregistrée à 6 heures du matin a varié entre $16,6 \pm 1,9$ °C (période de petite récolte : avril à septembre) et $18,5 \pm 0,6$ °C (période de grande récolte : octobre à mars). Au même moment la température ambiante a varié entre $18,0 \pm 1,8$ °C (période de petite récolte : avril à septembre) et $21,5 \pm 5,2$ °C (période de grande récolte : octobre à mars). Cette température moyenne en période de grande récolte est relativement élevée par rapport à celle de la période de petite récolte.

Les valeurs du pH varient de $9,8 \pm 0,3$ (période de petite récolte : octobre à mars) et $9,5 \pm 0,1$ (période de grande récolte : octobre à mars). Ce pH moyen en période de grande récolte est relativement bas par rapport à celle de la période de petite récolte.

Le Taux des substances dissoutes (TSD) sont compris entre 1230 ± 248 (période de petite récolte : octobre à mars) et 1230 ± 247 (période de grande récolte : avril à septembre). Ce TSD moyen en période de grande récolte est relativement bas par rapport à celle de la période de petite récolte. Ces valeurs paramétriques montrent que le milieu de vie de la spiruline à Artomossi est alcalinophile.

Etapas de la production de la spiruline

L'heure de forte disponibilité de spiruline pendant laquelle la récolte est abondante est très tôt le matin avant la lever du soleil et quelque rare fois le soir (5 %). Les productrices arrivent au bord du wadi à 6 h 30 mn (95%).

C'est le moment pendant lequel la vitesse du vent est faible, l'absence des animaux domestiques au breuvage : l'eau est calme. Les algues spirulines montent à la surface de l'eau et se laissent entraîner vers le bord du wadi par un vent léger du matin pour un ramassage facile par les productrices. Environ 2 heures de temps après, au lever du soleil (augmentation de la température et intensité de la lumière), elles descendent au fond de l'eau du wadi.

Ces productrices, munies de leurs poches (tissus en soie) d'une main et de l'autre ramassent la pâte de spiruline sur le plan d'eau à l'aide d'une petite cuvette. Le démarrage du ramassage est conditionné par l'arrivée de la cheftaine de l'eau qui doit donner le coup d'envoi. Cette spiruline récoltée, subit plusieurs processus de traitement (filtrage, pressage, séchage et découpage), grâce aux matériels adéquats pour l'obtention du produit final.

Après ramassage d'une quantité de la spiruline dans la poche en tissu, la poche chargée est fermée et déposée à la berge pour un certain temps : c'est le filtrage. Après filtrage, les productrices utilisent deux procédés en fonction des consommateurs.



Photos 1:-Récolte de spiruline dans le wadi d'Artomossi.



Photo 2:-Récolte de la spiruline, filtrage et pressage.



Photo 3:-Exfiltration de la spiruline.



Photo 4:-Spiruline fraîche après exfiltration.

Procédé de traitement traditionnel

Dans le procédé de traitement traditionnel de la spiruline, à la récolte, aucun outil de tamisage des débris végétaux et saletés, ni de modelage sont utilisés. Pour le séchage, les productrices étalent leur pâte de spiruline à même le sol sableux préalablement aménagé au bord du wadi.

Procédé de traitement amélioré

L'intervention de l'ONG SOS-Sahel a permis d'améliorer le mode de séchage et de découpage qui a rendu plus hygiénique le produit final : broyage et conditionnement.

Pour la spiruline améliorée, le séchage est fait à la maison dans des conditions d'hygiène acceptable (séchage sous les hangars et quelques fois dans les casses à l'abri des insectes, animaux domestiques et de la poussière). Dix (10) sur les vingt trois (N = 23) productrices enquêtées utilisent des séchoirs solaires.

Pour obtenir la spiruline en poudre, les productrices-transformatrices ont moulu la spiruline qui était séchée soit sous forme de croquettes ou de plaquettes. Le matériel de broyage utilisé à cet effet est mécanique et manuel. Le conditionnement et le stockage sont des étapes incontournables pour maintenir la qualité de l'aliment longtemps. Chez les productrices de spiruline d'Artomossi, leurs produits sont stockés dans les sachets ou plastiques. Ces sachets sont scellés à l'aide d'une machine électrique adaptée, ce qui évite le contact avec des nouvelles sources de contaminations.

Procédé de traitement traditionnel

Dans le procédé de traitement traditionnel de la spiruline, à la récolte, aucun outil de tamisage des débris végétaux et saletés, ni de modelage sont utilisés. Pour le séchage, les productrices étalent leur pâte de spiruline à même le sol sableux préalablement aménagé au bord du wadi.

Procédé de traitement amélioré

L'intervention de l'ONG SOS-Sahel a permis d'améliorer le mode de séchage et de découpage qui a rendu plus hygiénique le produit final : broyage et conditionnement.

Pour la spiruline améliorée, le séchage est fait à la maison dans des conditions d'hygiène acceptable (séchage sous les hangars et quelques fois dans les casses à l'abri des insectes, animaux domestiques et de la poussière). Dix (10) sur les vingt trois (N = 23) productrices enquêtées utilisent des séchoirs solaires.

Pour obtenir la spiruline en poudre, les productrices-transformatrices ont moulu la spiruline qui était séché soit sous forme de croquettes ou de plaquettes. Le matériel de broyage utilisé à cet effet est mécanique et manuel. Le conditionnement et le stockage sont des étapes incontournables pour maintenir la qualité de l'aliment longtemps. Chez les productrices de spiruline d'Artomossi, leurs produits sont stockés dans les sachets ou plastiques. Ces sachets sont scellés à l'aide d'une machine électrique adaptée, ce qui évite le contact avec des nouvelles sources de contaminations.

Discussion:-**De la biomasse de spiruline à Artomossi**

La production moyenne (petite et grande récolte) par productrice est estimée à 10,35 kg/an de spiruline sèche. A raison d'une production moyenne de 10,35 kg/productrice/an de spiruline sèche, l'échantillon des 23 productrices enquêtées produiraient 238 kg/an de spiruline sèche à Artomossi. Ces résultats sont proches de ceux obtenus par Sorto(2003) dont la marge est comprise entre 4 et 8 kg. Une production de spiruline estimée à 388,8 tonnes/an représentant 4,8% de la production mondiale qui est de 8 000 tonnes/an a été faite Projet pilote de développement de la filière «Dihé» au Tchad (MEERH, 2009).

Conditions physico chimiques de production de la spiruline à Artomossi

La température de l'eau enregistrée à 6 heures du matin a varié entre $16,6 \pm 1,9$ °C (période de petite récolte : avril à septembre) et $18,5 \pm 0,6$ °C (période de grande récolte : octobre à mars) ; soit une température moyenne (petite et grande récolte) $17,55 \pm 1,25$ °C. Au même moment la température ambiante a varié entre $18,0 \pm 1,8$ °C (période de petite récolte : avril à septembre) et $21,5 \pm 5,2$ °C (période de grande récolte : octobre à mars) ; soit une température moyenne (petite et grande récolte) $19,75 \pm 3,5$ °C. Ces résultats sont inférieurs à ceux obtenus dans une étude réalisée par Sorto(2003)qui ont trouvé dans le milieu de vie de la spiruline $17,2 \pm 2,0$ °C et dans la fourchette des valeurs trouvées par Thirion et al. (2017) qui sont de 14,6 à 20,7°C.

Les valeurs du pH varient de $9,8 \pm 0,3$ (période de petite récolte : octobre à mars) et $9,5 \pm 0,1$ (période de grande récolte : octobre à mars) ; soit un pH moyen (petite et grande récolte) $9,65 \pm 0,2$. Le Taux des substances dissoutes (TSD) sont compris entre 1230 ± 248 (période de petite récolte : octobre à mars) et 1230 ± 247 (période de grande récolte : avril à septembre) ; soit un TDS moyen (petite et grande récolte) $1230 \pm 247,5$. Ces valeurs paramétriques nous permettent de conclure que le milieu de vie de la spiruline à Artomossi est alcalinophile. Ces résultats sont similaires au milieu de culture étudié en Haïti et à Madagascar où le pH optimum est compris entre 9 et 10,5 (Magermans et al., 2013 ; Sorto, 2003 ; Charpy et al., 2008). Les facteurs environnementaux tels que la température auraient cependant une influence sur l'orientation de l'hélice (Muhling et al., 2003).

Conclusion:-

La présente étude est une contribution à la filière spiruline au Tchad et par conséquent une perspective de gestion durable de cette ressource naturelle face aux changements climatiques.

Remerciements:-

Les auteurs remercient les responsables du projet BIOPALT/UNESCO pour son appui financier. Ils remercient l'Université de N'Djamena à travers le Département de Biologie pour ses appuis multiformes. Ils remercient également les autorités administratives et traditionnelles de la Province du Lac (Tchad), les guides de terrain pour leur collaboration et tous les lecteurs qui ont contribué à l'amélioration de la qualité scientifique du manuscrit.

Contributions des auteurs

1. **Djekota Christophe Ngarmari, Médingam Paulin et Rogoum Tédébaye** ont participé à la collecte et l'analyse des données ainsi que la rédaction du draft du manuscrit.

2. **Olbom Jean** a participé à la correction et mise en forme du manuscrit.
3. **Mbayngone Eliséa** a participé à la supervision et à la correction.

References:-

1. Abderaman M. A. (1992). Contribution d'une étude à l'usage alimentaire (Spirulina) dans la région du Kanem et de Lac-Tchad. Dakar : Thèse de Doctorat TD 92.9 89p.
2. Benkahla A., Hochet P. (2013). Gérer ensemble les ressources naturelles du territoire : Guide méthodologique pour promouvoir et consolider une gestion négociée des ressources naturelles en Afrique de l'Ouest, 17p.
3. Brundu G. & Camarda I. (2013). The flora of Chad a checklist and brief analysis. *PhytoKeys* 23: 1–17.
4. Bucfore (2020). Etude socio-économique autour des sites prioritaires identifiés pour les actions pilotes de restauration écologique dans la Province du Lac. Rapport final. BIOPALT/UNESCO, 83p.
5. Charpy L., Langlade M.-J., Alliod R. (2008). La Spiruline peut-elle être un atout pour la santé et le développement en Afrique ? Rapport d'expertise pour le Ministère de l'Agriculture et de la Pêche au Tchad, 49p.
6. Falquet J. & Hurni J. P. (2006). Spiruline aspects nutritionnels. *Antenna Technology*.
7. Geitler L. (1932). Cyanophyceae. In: Rabenhorst's Krypto gamenflora von Deutschland, Osterreich und der Schweiz. Kolkwitz R. (Eds.) Leipzig Germany : Akademische Verlagsgesellschaft, 14.
8. Gonnet J. (2006). La spiruline, une cyanobactérie comme instrument de développement durable pour réduire l'insécurité alimentaire et soutenir une activité traditionnelle féminine. Mémoire de Diplôme d'études supérieures spécialisées en écologie humaine. Université de Genève.
9. Goulamabasse T. R. (2006). La spiruline : activités thérapeutiques et son intérêt dans la lutte contre la malnutrition à Madagascar. Thèse doctorat en pharmacie, Université de Lille, 2018.
10. INSEED (2009). Deuxième recensement général de la population et de l'habitat. Ministère de l'économie et du plan, 89p.
11. Kumeh M. E. (2017). Gouvernance des ressources naturelles en Afrique. Concours universitaire de dissertation du Forum de Tana ; Université des Sciences et Technologies Kwame Nkrumah, Ghana.
12. Lecointre R. (2017). Optimisation de la production de spiruline dans une ferme à Madagascar afin de lutter contre la malnutrition infantile. Mémoire d'ingénieur en agroalimentaire de l'école nationale vétérinaire, agroalimentaire et l'alimentation, Oniris, Nante Atlantique, 5p.
13. Magermans P., Dengis C., Detienne X., Graindorge C. & Deliège J.-F. (2013). Formation du monde entrepreneurial et associatif à la culture de Spiruline en Haïti. WBI.
14. Médingam P. (2020). Paramètres de production et caractéristiques physico-chimiques du milieu de vie de la spiruline (*Spirulina Plantensis* (Gomont) Geitler, Oscillatoriaceae) : cas du wadi d'Artomossi dans la Province du Lac/Tchad'', Mémoire de Master, Université de N'Djaména/Tchad, 34p + annexes.
15. MEERH (Ministère de l'Environnement, de l'Eau et de Ressources Halieutiques) (2009). 4ème Rapport National sur la Biodiversité, République du Tchad.
16. Mélom S., Mbayngone E., Béchir A. B., Ratnan N. et Mapongmetsem P.M. (2015). Caractéristiques floristique et écologique des formations végétales de Massenya au Tchad (Afrique centrale), *Journal of Animal & Plant Sciences*, Vol.25, Issue 1: 3799-3813.
17. Muhling M., Harris N., Belay A., Whitton B. (2003). Reversal of helix orientation in the cyanobacterium *Arthrospira*. *Journal of Phycology* 39: 360-367.
18. Niangoran N. U. (2017). Optimisation de la culture de la spiruline en milieu contrôlé : éclairage et estimation de la biomasse. Université De Toulouse III, Laboratoire LAPLACE Thèse de doctorat 176p.
19. OSS (2015). Atlas des cartes de végétation au Tchad. Projet amélioration de la résilience des populations sahéliennes aux mutations environnementales (REPSAHEL).
20. Ozer P., Catherine B., Bernard T. (2005). Analyse climatique de la région de Gouré, Niger oriental : récentes modifications et impacts environnementaux. *Cyber géo : Revue Européenne de Géographie*, 308 : 1-24.
21. Raimond C., Sylvestre F., Zakinet D. et Moussa A. (2019). Le Tchad des lacs. Les zones humides sahéliennes au défi du changement global, IRD éditions, 365p.
22. Sguera S. (2008). *Spirulina platensis* et ses constituants, intérêts nutritionnels et activités thérapeutiques. Thèse doctorat : Henri Poincaré - Nancy 1.
23. Sorto M. (2003). Utilisation et consommation de la spiruline au Tchad. Institut Tchadien de Recherche Agronomique pour le Développement (ITRAD), N'Djaména Tchad.
24. Thirion P., Grua J. (2017). Optimisation de la production de spiruline dans une ferme à Madagascar afin de lutter contre la malnutrition infantile. *Esperanza, Joie des enfants*, 70p.
25. Vonshak A., Richmond A. (1985). Problèmes dans le développement de la biotechnologie de la production de biomasse algale. *Plant Soil*. 89, 129-135. <https://doi.org/10.1007/BF02182239>.