

Impacts des paramètres physico chimiques sur la production de la spiruline endémique au Tchad (*Spirulina platensis* (Gomont) Geitler, Oscillatoriaceae) dans le wadi d'Artomossi (Province du Lac)

RESUME :

La spiruline (*Spirulina platensis*) est l'une des algues la plus utilisée à cause de sa teneur en protéines. Au Tchad, l'algue spiruline qui y croissait spontanément est exploitée traditionnellement par les femmes de la communauté kanembou. A Artomossi, c'est dans un wadi (mare) à eau saumâtre où pousse naturellement cette spiruline. C'est la fluctuation des paramètres physico chimiques de cette eau saumâtre et les pesanteurs socioculturelles qui ne favorisent pas cette production pour couvrir en quantité et en qualité la demande des consommateurs. Les paramètres physico chimiques de cette eau sont étudiés afin d'évaluer leurs impacts sur la production de cette spiruline. Vingt-trois productrices, appartenant à six groupements ont été enquêtées. Quel que soit la saison au cours de l'année et la variabilité des paramètres physico chimiques de cette eau saumâtre, la production de la spiruline d'Artomossi est optimale tôt le matin avant le lever du soleil. En fonction des saisons, la période de "petite récolte" s'étend d'avril à septembre ; et la période de "grande récolte" s'étend d'octobre à mars. Lorsque le pH > 9,5 et la température diurne > 18°C, la production de la spiruline d'Artomossi est optimale. Ces valeurs montrent que ce milieu de vie est alcalinophile. La production artisanale moyenne est de 3,75 kg/jour/productrice en période de petite récolte et 6,6 kg/jour/productrice en période de grande récolte ; soit 10,35 kg/an/ productrice de spiruline sèche. De tels résultats constituent un préalable pour un appui à cette filière au Tchad et une gestion durable de cette ressource.

Mots clés : *Spirulina platensis*, Espèce endémique, Paramètre de production, Exploitation traditionnelle, Tchad.

27 ABSTRACT

28 *Spirulina (Spirulina platensis)* is one of the most widely used algae because of its protein content.
29 In Chad, the women of the Kanembou community traditionally exploit the spirulina algae that grew
30 spontaneously there. In Artomossi, it is in a brackish water wadi (pond) where this spirulina
31 naturally grows. It is the fluctuation of the physico-chemical parameters of this brackish water and
32 the socio-cultural constraints that do not favour this production in order to cover the quantity and
33 quality of consumer demand. The physicochemical parameters of this water are studied in order to
34 assess their impact on the production of this spirulina. Twenty-three women producers, belonging to
35 six groups, were surveyed. Regardless of the season during the year and the variability of the
36 physicochemical parameters of this brackish water, the production of Artomossi spirulina is optimal
37 early in the morning before sunrise. Depending on the season, the "small harvest" period extends
38 from April to September; and the "great harvest" period extends from October to March. When the
39 $\text{pH} > 9.5$ and the daytime temperature $> 18^{\circ}\text{C}$, the production of Artomossi spirulina is optimal.
40 These values show that this living environment is alkaline-like. The average artisanal production is
41 3.75 kg/day/producer during the small harvest period and 6.6 kg/day/producer during the major
42 harvest period; i.e. 10.35 kg/year/producer of dry spirulina. Such results are a prerequisite for
43 support for this sector in Chad and sustainable management of this resource.

44 **Keywords:** *Spirulina platensis*, Endemic species, Production parameter, Traditional farm, Chad.

45 I. INTRODUCTION

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

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

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

72 Selon les estimations du Projet Pilote de développement de la filière «Dihé» au Tchad, la
73 production totale de «Dihé» appuyés par ce projet est estimée à environ 388,8 tonnes/an. Cette
74 production représente 4,8% de la production mondiale (8 000 tonnes/an) de la spiruline (MEERH,
75 2009). En poids sec, la spiruline contient en moyenne 50 à 70% de protéines, 15 à 25% de glucides,
76 11% de lipides ainsi que des vitamines, des minéraux, de la chlorophylle et des phycoblines

77 protéiniques (Vonshak et al., 1985 ; Falquet et al., 2006 ; Charpy et al., 2008). Plusieurs auteurs ont
78 confirmé les effets thérapeutiques et nutritionnels de la spiruline (Lecointre, 2017 ; Sguera, 2002 ;
79 Goulamabasse, 2018). Malgré son importance alimentaire, la ressource est soumise à des nombreux
80 facteurs de dégradation de son milieu de vie.

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

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

101 température) sur la production de la spiruline (*Spirulina platensis*), endémique du Tchad et les
102 étapes de sa production.

103 **MATERIEL ET METHODES**

104 **Matériel**

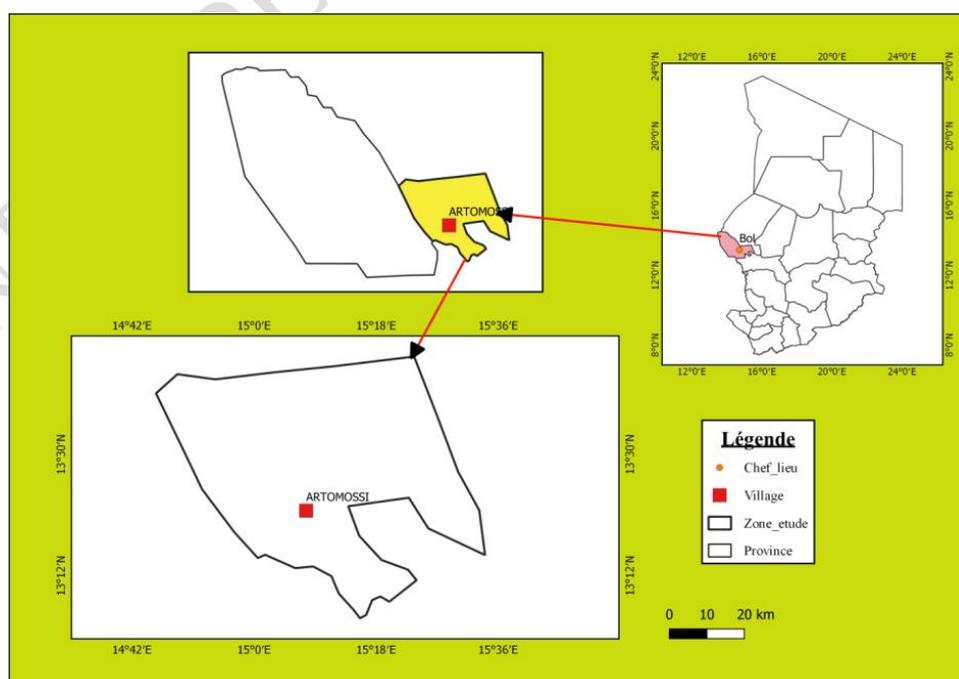
105 *Localisation de la zone d'étude*

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

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

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

116



117

118 *Fig. 1. Localisation du wadi d'Artomossi*

119 La principale activité des populations dans cette zone est l'élevage et accessoirement l'agriculture.
120 La population du village Artomossi est constituée essentiellement des sous-groupes de l'ethnie
121 Kanembou (INSEED, 2009). Ces sous-groupes ethniques à Artomossi sont en majorités des
122 Bonians suivies de Kangou, Kouhiri, Kafa, Kehi, Goumborou, Magguie et de Koräi.

123 ***Matériel biologique***

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

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

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

- 141 ➤ La *Spirulina platensis* du Tchad : la plus connue et la plus cultivée. Elle a une longueur qui
142 peut atteindre 350 μm et un diamètre compris entre 6 et 12,45 μm ;

143 ➤ *La Spirulina maxima* du Mexique : elle se caractérise par des trichomes de 70 à 80 µm de
144 long et de 7 à 9 µm de diamètre, légèrement effilés aux extrémités.

145 Parmi ces 2 espèces c'est la *Spirulina platensis qui est endémique* au Tchad. Elle est la plus connue
146 et la plus cultivée. Elle a une longueur qui peut atteindre 350 µm et un diamètre compris entre 6 et
147 12,45 µm.

148 **Méthodes**

149 ***Données sur la production et le traitement de la spiruline***

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

156 ***Données sur les paramètres physico-chimiques de l'eau***

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

160 Les échantillons d'eau destinés à l'analyse physico chimique sont prélevés à l'aide d'un flacon de
161 750 ml nettoyé par rinçage (trois fois) avec l'eau à prélever. Au bord du wadi, par la méthode
162 photométrique, les électrodes (ou bout des appareils électroniques (turbidimètre et DR 2400/UV-
163 visible) sont plongés dans le flacon contenant l'échantillon d'eau prélevée. Ces opérations de
164 prélèvement d'échantillon d'eau et mesure de paramètres physico-chimiques ont été effectuées
165 avant la récolte de la spiruline par les productrices en 08 points pendant la saison de petite récolte et
166 08 points pendant la saison de grande récolte.

167

168 **RESULTATS**

169 **Caractéristiques socio professionnelles des productrices de la spiruline à Artomossi**

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

173 Les longues années d'expériences des femmes enquêtées varient de 16 à 30 ans soit 39,1 % de notre
174 échantillon. Les plus courtes expériences (2 à 5 ans) représentent 34,7 % et l'expérience moyenne
175 (6 à 10 ans) enregistre 26,1 %.

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

182 L'une des deux (2) périodes situées entre octobre-mars pendant laquelle le harmattan (vent
183 dominant) draine la spiruline sur les berges du côté Sud appelé localement "Brandji". L'autre
184 période située entre avril-septembre pendant laquelle la mousson (vent dominant) draine la spiruline
185 sur les berges côté Nord appelé localement "Kiri" Les paramètres de l'eau (température, pH, taux
186 des substances dissoutes), c'est-à-dire le milieu de vie de la spiruline, ont été mesurés à l'aide d'un
187 multi-paramètre.

188 **Biomasse de la spiruline à Artomossi**

189 *Période de petite récolte : avril à septembre*

190 A partir mois d'avril à septembre 58,9% des productrices ont récolté entre 7,5 à 14 kg/jour de
191 spiruline (poids frais après filtrage) pour obtenir 1,5 à 2,8 kg de poids sec. 29,4% ont récolté entre
192 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

193 pour obtenir 3,4 à 6,7 kg de poids sec. Les intempéries en cette période de l'année compliquent le
194 séchage artisanal qui ne se fait pas sous abri.

195 ***Période de grande récolte : octobre à mars***

196 A partir mois d'octobre à mars, 39,2% des productrices ont récolté entre 41 à 50 kg/jour de
197 spiruline (poids frais après filtrage) pour obtenir 8,2 à 10 kg de poids sec. 34,5% ont récolté entre
198 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
199 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.

200 Ces mesures de poids frais et poids sec que la spiruline filtrée perd environ 80% de son poids frais
201 au séchage. Ces résultats montrent que la capacité de production artisanale de spiruline sèche varie
202 de 2,4 à 5,1 kg ; soit en moyenne 3,75 kg par jour par productrice en période de petite récolte (avril
203 à septembre) et 4,6 à 8,7 kg ; soit en moyenne 6,6 kg par jour par productrice en période de grande
204 récolte (octobre à mars). La production moyenne annuelle (petite et grande récolte) par productrice
205 est estimée à 10,35 kg de spiruline sèche. A raison d'une production moyenne de 10,35
206 kg/productrice/an de spiruline sèche, l'échantillon des 23 productrices enquêtées produiraient 238
207 kg/an de spiruline sèche à Artomossi. Mais la prolifération des plantes envahissantes sur environ
208 1/5 du plan d'eau du wadi compliquent la récolte par endroit.

209

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

211 Dans la mare d'Artomossi, la température de l'eau enregistrée à 6 heures du matin a varié entre
212 $16,6 \pm 1,9$ °C (période de petite récolte : avril à septembre) et $18,5 \pm 0,6$ °C (période de grande
213 récolte : octobre à mars). Au même moment la température ambiante a varié entre $18,0 \pm 1,8$ °C
214 (période de petite récolte : avril à septembre) et $21,5 \pm 5,2$ °C (période de grande récolte : octobre à
215 mars). Cette température moyenne en période de grande récolte est relativement élevée par rapport
216 à celle de la période de petite récolte.

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

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

224 *a - Etapes de la production de la spiruline*

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

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

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

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

241

242
243
244
245
246



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

247
248
249
250

251

Procédé de traitement traditionnel

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

255

Procédé de traitement amélioré

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

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

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

268 *Procédé de traitement traditionnel*

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

272 *Procédé de traitement amélioré*

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

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

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

285

286 **DISCUSSION**

287 **De la biomasse de spiruline à Artomossi**

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

295

296

297 **Conditions physico chimiques de production de la spiruline à Artomossi**

298 La température de l'eau enregistrée à 6 heures du matin a varié entre $16,6 \pm 1,9$ °C (période de
299 petite récolte : avril à septembre) et $18,5 \pm 0,6$ °C (période de grande récolte : octobre à mars) ; soit
300 une température moyenne (petite et grande récolte) $17,55 \pm 1,25$ °C. Au même moment la
301 température ambiante a varié entre $18,0 \pm 1,8$ °C (période de petite récolte : avril à septembre) et
302 $21,5 \pm 5,2$ °C (période de grande récolte : octobre à mars) ; soit une température moyenne (petite et
303 grande récolte) $19,75 \pm 3,5$ °C. Ces résultats sont inférieurs à ceux obtenus dans une étude réalisée
304 par Sorto (2003) qui ont trouvé dans le milieu de vie de la spiruline $17,2 \pm 2,0$ °C et dans la
305 fourchette des valeurs trouvées par Thirion et al. (2017) qui sont de 14,6 à 20,7°C.

306 Les valeurs du pH varient de $9,8 \pm 0,3$ (période de petite récolte : octobre à mars) et $9,5 \pm 0,1$
307 (période de grande récolte : octobre à mars) ; soit un pH moyen (petite et grande récolte) $9,65 \pm 0,2$.

308 Le Taux des substances dissoutes (TSD) sont compris entre 1230 ± 248 (période de petite récolte :
309 octobre à mars) et 1230 ± 247 (période de grande récolte : avril à septembre) ; soit un TDS moyen
310 (petite et grande récolte) $1230 \pm 247,5$. Ces valeurs paramétriques nous permettent de conclure que
311 le milieu de vie de la spiruline à Artomossi est alcalinophile. Ces résultats sont similaires au milieu

312 de culture étudié en Haïti et à Madagascar où le pH optimum est compris entre 9 et 10,5
313 (Magermans et al., 2013 ; Sorto, 2003 ; Charpy et al., 2008). Les facteurs environnementaux tels
314 que la température auraient cependant une influence sur l'orientation de l'hélice (Muhling et al.,
315 2003).

316 **CONCLUSION**

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

319 **Remerciements**

320 Les auteurs remercient la Délégation du Ministère de l'Environnement de Bongor et l'Agence
321 Nationale de la
322 Météorologie pour la mise à leur disposition de données.

323 **Contributions des auteurs**

- 324 1. **Djekota Christophe Ngarmari** et **Rogoum Tédébaye** ont participé à la collecte et l'analyse des
325 données ainsi que la rédaction du draft du manuscrit.
- 326 2. **Médingam Paulin** a participé à la correction et mise en forme du manuscrit.
- 327 3. **Mbayngone Elisée** a participé à la supervision et à la correction.

328

329

330 **REFERENCES**

- 331 1. Abderaman M. A. (1992). Contribution d'une étude à l'usage alimentaire (*Spirulina*) dans la
332 région du Kanem et de Lac-Tchad. Dakar : Thèse de Doctorat TD 92.9 89p.
- 333 2. Benkahla A., Hochet P. (2013). Gérer ensemble les ressources naturelles du territoire :
334 Guide méthodologique pour promouvoir et consolider une gestion négociée des ressources
335 naturelles en Afrique de l'Ouest, 17p.

- 336 3. Brundu G. & Camarda I. (2013). The flora of Chad: a checklist and brief analysis. *PhytoKeys*
337 23: 1–17.
- 338 4. Bucofore (2020). Etude socio-économique autour des sites prioritaires identifiés pour les
339 actions pilotes de restauration écologique dans la Province du Lac. Rapport final.
340 BIOPALT/UNESCO, 83p.
- 341 5. Charpy L., Langlade M-J., Alliod R. (2008). La Spiruline peut-elle être un atout pour la
342 santé et le développement en Afrique ? Rapport d'expertise pour le Ministère de
343 l'Agriculture et de la Pêche au Tchad, 49p.
- 344 6. Falquet J. & Hurni J. P. (2006). Spiruline aspects nutritionnels. Antenna Technology.
- 345 7. Geitler L. (1932). Cyanophyceae. In: Rabenhorst's Krypto gamenflora von Deutschland,
346 Osterreich und der Schweiz. Kolkwits R. (Eds.) Leipzig Germany : Akademische
347 Verlagsgesellschaft, 14.
- 348 8. Gonnet J. (2006). La spiruline, une cyanobactérie comme instrument de développement
349 durable pour réduire l'insécurité alimentaire et soutenir une activité traditionnelle féminine.
350 Mémoire de Diplôme d'études supérieures spécialisées en écologie humaine. Université de
351 Genève.
- 352 9. Goulamabasse T. R. (2006). La spiruline : activités thérapeutiques et son intérêt dans la lutte
353 contre la malnutrition à Madagascar. Thèse doctorat en pharmacie, Université de Lille,
354 2018.
- 355 10. INSEED (2009). Deuxième recensement général de la population et de l'habitat. Ministère
356 de l'économie et du plan, 89p.
- 357 11. Kumeh M. E. (2017). Gouvernance des ressources naturelles en Afrique. Concours
358 universitaire de dissertation du Forum de Tana ; Université des Sciences et Technologies
359 Kwame Nkrumah, Ghana.

- 360 12. Lecointre R. (2017). Optimisation de la production de spiruline dans une ferme à
361 Madagascar afin de lutter contre la malnutrition infantile. Mémoire d'ingénieur en
362 agroalimentaire de l'école nationale vétérinaire, agroalimentaire et l'alimentation, Oniris,
363 Nante Atlantique, 5p.
- 364 13. Magermans P., Dengis C., Detienne X., Graindorge C. & Deliège J-F. (2013). Formation du
365 monde entrepreneurial et associatif à la culture de Spiruline en Haïti. WBI.
- 366 14. Médingam P. (2020). Paramètres de production et caractéristiques physico-chimiques du
367 milieu de vie de la spiruline (*Spirulina Plantensis* (Gomont) Geitler, Oscillatoriaceae) : cas
368 du wadi d'Artomossi dans la Province du Lac/Tchad'', Mémoire de Master, Université de
369 N'Djaména/Tchad, 34p + annexes.
- 370 15. MEERH (Ministère de l'Environnement, de l'Eau et de Ressources Halieutiques) (2009).
371 4ème Rapport National sur la Biodiversité, République du Tchad.
- 372 16. Mélom S., Mbayngone E., Béchir A. B., Ratnan N. et Mapongmetsem P.M. (2015).
373 Caractéristiques floristique et écologique des formations végétales de Massenya au Tchad
374 (Afrique centrale), *Journal of Animal & Plant Sciences*, Vol.25, Issue 1: 3799-3813.
- 375 17. Muhling M., Harris N., Belay A., Whitton B. (2003). Reversal of helix orientation in the
376 cyanobacterium *Arthrospira*. *Journal of Phycology* 39: 360-367.
- 377 18. Niangoran N. U. (2017). Optimisation de la culture de la spiruline en milieu contrôlé :
378 éclairage et estimation de la biomasse. Université De Toulouse III, Laboratoire LAPLACE
379 Thèse de doctorat 176p.
- 380 19. OSS (2015). Atlas des cartes de végétation au Tchad. Projet amélioration de la résilience des
381 populations sahéliennes aux mutations environnementales (REPSAHEL).
- 382 20. Ozer P., Catherine B., Bernard T. (2005). Analyse climatique de la région de Gouré, Niger
383 oriental : récentes modifications et impacts environnementaux. *Cyber géo : Revue*
384 *Européenne de Géographie*, 308 : 1-24.

- 385 21. Raimond C., Sylvestre F., Zakinet D. et Moussa A. (2019). Le Tchad des lacs. Les zones
386 humides sahéliennes au défi du changement global, IRD éditions, 365p.
- 387 22. Sguera S. (2008). *Spirulina platensis* et ses constituants, intérêts nutritionnels et activités
388 thérapeutiques. Thèse doctorat : Henri Poincaré - Nancy 1.
- 389 23. Sorto M. (2003). Utilisation et consommation de la spiruline au Tchad. Institut Tchadien de
390 Recherche Agronomique pour le Développement (ITRAD), N'Djamena Tchad.
- 391 24. Thirion P., Grua J. (2017). Optimisation de la production de spiruline dans une ferme à
392 Madagascar afin de lutter contre la malnutrition infantile. *Esperanza, Joie des enfants*, 70p.
- 393 25. Vonshak A., Richmond A. (1985). Problèmes dans le développement de la biotechnologie
394 de la production de biomasse algale. *Plant Soil*. 89, 129-135. https://doi.org/10.1007/BF02182239_

395