

ESSAI DE PRODUCTION DE LA SPIRULINE AU NIGER

M. K. NAROUA KOURE^{1,3*}, H. OUMAROU DIADIE^{1,3}, M. N. LAWALI², B. ABDOURAHAMANE^{1,3},
A. N. WRIGHT^{3,4}

¹Département de production végétale à la Faculté d'Agronomie de l'Université Abdou Moumouni de Niamey (Niger) BP : 10960 NY

²Département Radio Agronomie, à l'Institut des radios isotopiques de l'Université Abdou Moumouni de Niamey.

³Laboratoire de Recherches en Hygiène, Sciences Alimentaires et Nutritionnelles (LRHY-SAN)

⁴Société Coopérative Simplifiée, pour la production, la transformation et la commercialisation de la spiruline et des produits séchés (COOPROSPI), Tel : (+227) 90687336 ; E-mail : alwrightm@yahoo.fr

*Auteur principal – Email : nkmkabirou86@yahoo.com – Tel : (+227) 96305681

RESUME

La spiruline, complément alimentaire par excellence, est une algue très riche en protéines, en vitamines et en éléments minéraux, mais sa production demeure encore artisanale et très peu pratiquée au Niger. C'est ainsi, qu'un essai de production a été réalisé, en vue de caractériser les paramètres de culture influençant le rendement de la spiruline. Pour atteindre cet objectif, un dispositif complet randomisé (trois répétitions) a été monté pendant trois (3) saisons à savoir : (i), la saison sèche chaude (Mars-Mai), (ii) la saison des pluies (Juin-Octobre) et (iii) la saison sèche et froide (Novembre -Février). A cet effet, les paramètres de culture (le pH, la température, et la densité du milieu de culture) ont été relevés. Aussi, le rendement obtenu au cours des essais a été évalué.

De ce fait, la croissance moyenne de la spiruline enregistrée pendant la saison sèche chaude ($1,061 \pm 0,05a$) et la saison des pluies ($1,115 \pm 0,04a$) ne présente pas de différence significative entre elles, mais sont significativement supérieures à celle de la saison sèche froide qui présente une moyenne de ($0,493 \pm 0.03 b$). Le rendement moyen de la biomasse sèche (g/l) de la spiruline obtenue ne présente aucune différence significative quel que soit la saison (p value= 0.109).

Mots clés : Spiruline, Paramètres de culture, production, Niger.

ABSTRACT

SPIRULINA PRODUCTION TRIAL IN NIGER

Spirulina, a food supplement par excellence, is an algae very rich in proteins, vitamins and mineral elements, but its production is still artisanal and very little practiced in Niger. Thus, a production test was carried out, in order to characterize the culture parameters influencing the performance of spirulina. To achieve this objective, a complete randomized device (three repetitions) was set up for three (3) seasons namely: (i), the hot dry season (March-May), (ii) the rainy season (June-October) and (iii) the dry and cold season (November-February). To this end, the culture parameters (pH, temperature, and density of the culture medium) were recorded. Also, the performance obtained during the tests was evaluated. Because of this, the average growth of spirulina recorded in the hot dry season ($1.061 \pm 0.05a$) and the rainy season ($1.115 \pm 0.04a$) does not show a significant difference between them, but is significantly higher than that of the cold dry season which has an average of ($0.493 \pm 0.03 b$). The average yield of the dry biomass (g/l) of the spirulina obtained shows no significant difference whatever the season (p value=0.109).

Keywords: *Spirulina, Culture parameters, production, Niger.*

INTRODUCTION

La spiruline est une algue microscopique, et unicellulaire, vivant en eau douce et présentant un aspect spiralé de 0,3 à 1 mm de long. Elle est cultivée originellement dans les lacs du Tchad (chez les Kanembous) et dans la vallée de Texcoco au Mexique (chez les Aztèques) (Branger *et al.*, 2003). La culture de cette algue a commencé en 1970 dans le lac Texcoco au Mexique et actuellement produite dans plusieurs pays à travers le monde (EVOLI Conseil, 2015).

La spiruline est désormais considérée comme une source alimentaire de haute qualité nutritive, en raison notamment de sa haute digestibilité et de sa teneur élevée en protéines (70 %) et particulièrement en phycocyanine (Ould bellahcen *et al.*, 2013). Elle connaît depuis quelques décennies un regain d'intérêt par la communauté scientifique (Ould bellahcen *et al.*, 2013). L'Afrique reste l'un des continents où la production de spiruline est la plus faible malgré les conditions de culture favorables (Florent, 2017). Au Niger, sa culture est très peu développée et peu maîtrisée. Sa production demeure artisanale et s'effectue actuellement au niveau de quatre (4) régions du pays (Niamey, Dosso, Maradi et Agadez). Cependant, il est connu actuellement que la production de microalgues, notamment de *Arthrospira*, dépend essentiellement des conditions environnementales, pouvant influencer leur croissance et provoquant des changements dans leur composition (Pandey, 2011 et Hu, 2004).

C'est dans le cadre de l'amélioration de la production de la spiruline que la présente étude a été conduite au Niger, dont l'objet est d'évaluer la productivité cette algue en fonction des saisons.

MATERIEL ET METHODES

MATERIEL

Matériel biologique

Le matériel biologique qui a été utilisé dans le cadre de cet essai est l'espèce *Spirulina platensis* (forme spirale « Type Lonar »). La souche provient de la ferme de Pahou - Cotonou dans la République du Bénin.

Matériel technique

Les matériels techniques utilisés pour la réalisation de l'étude sont :

Six (6) cuvettes d'une capacité de 120L chacune pour la multiplication de la culture ;

pH mètre pour mesurer le pH du milieu de culture ;

Thermomètre pour mesurer la température du milieu ;

Secchi pour mesurer la densité du milieu (concentration en spiruline) ;

Toile de filtration en polyester de 30 microns de mailles pour récolter la spiruline ;

Tamis métalliques à mailles fines de 0,2 mm ont été utilisés au cours de la filtration de la spiruline ;

Presse pour essorer la spiruline ;

Pistolet manuel de marque SIKA de capacité 500 ml pour extruder la spiruline sous forme de spaghetti ;

Séchoir solaire pour le séchage de la spiruline.

Matériel de laboratoire

Les matériels de laboratoire utilisés sont composés :

d'une balance électronique pour quantifier les intrants ;

d'un microscope optique pour observer la forme de la spiruline et vérifier la présence d'une quelconque anomalie ;

d'une pipette pour prélever la solution du milieu de culture pour l'observation ;

des solutions de pH 7 et pH 10 pour calibrer le pH mètre ;

l'eau distillée pour nettoyer les appareils de mesure après l'utilisation.

METHODES

Site de l'essai

L'essai a été réalisé au niveau de la ferme privée de la famille Wright créée en 2018. Elle est située dans l'Arrondissement Communal V de Niamey plus précisément dans le quartier

Nogaré, entre la latitude 13° 30' 20 et la Longitude 2° 5' 37.

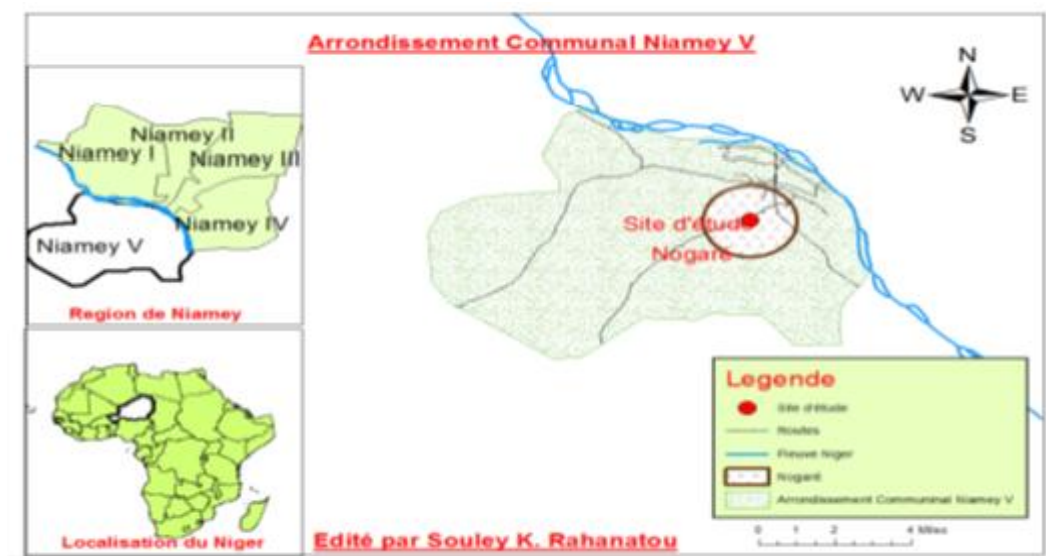


Figure 1 : Localisation de la ferme de spiruline de la famille Wright.

Location of the Wright family's spirulina farm.

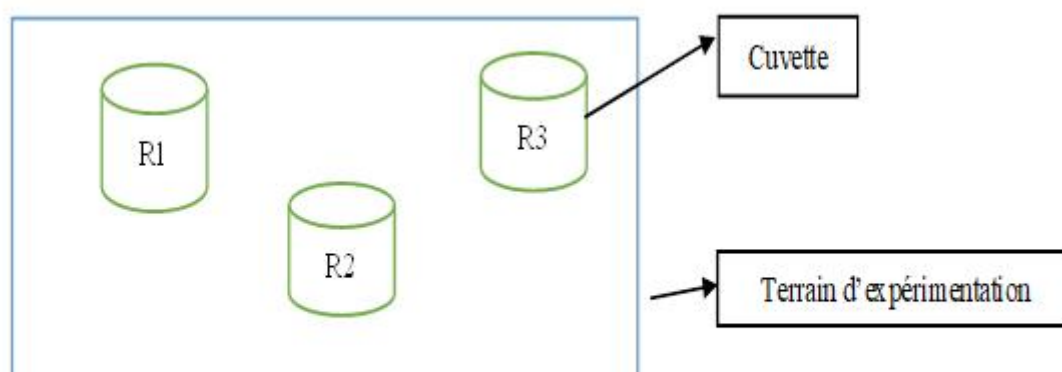
Période de l'essai

L'essai a démarré pendant le mois de mars 2019, et a été conduit pendant douze mois (12) entre l'année 2019-2020.

Dispositif expérimental :

L'essai a été conduit dans un dispositif complet randomisé (trois (3) répétitions).

Ce dispositif permet de comparer les traitements comportant un même nombre ou non de répétitions. Aussi, ce même dispositif a été maintenu durant toutes la période de l'étude. Ainsi, les résultats obtenus sont regroupés selon trois saisons considérées, (i) la saison sèche chaude (Mars-Mai), (ii) saison des pluies (Juin-Octobre) et la saison sèche et froide (Novembre-Février).



R= répétitions

Figure 2 : Dispositif expérimental de production de la spiruline.

Experimental device for the production of spirulina.

Milieu de culture

Le milieu de culture choisi pour l'essai est la formule proposée par Antenna Technologie (2007). La formule est composée : du natron, du sel, de l'engrais NPK, de l'urée, de la chaux,

du fer et de l'eau de cendre. L'eau de puits a servi à la dissolution de ces intrants et l'ensemencement des cuvettes. Le tableau 1 présente la quantité des intrants utilisés pour la préparation du milieu de culture

Tableau 1 : Constituants du milieu de culture.

Constituents of the culture medium.

Produits	Dosage Antenna
Natron	10g/L
Sel	7g/L
NPK	1g/L
Urée	0,075g/L
Chaux	0,01g/L
Eau de cendre	0,5ml/L
Fer	0,1ml/L

Source : Antenna Technologique (2007).

Préparation de l'eau de vie pour l'ensemencement des cuvettes de culture.

La préparation de l'eau de vie destinée à la culture de la spiruline s'est déroulée en trois étapes essentielles :

La première étape consiste à préparer une solution natronée avec une eau bouillante. Cette étape est essentielle car elle permet de se débarrasser de tous les insectes qui se cachent dans le natron, et qui sont nuisibles à la culture de la spiruline (figure 3).



Préparation de l'eau chaude.

Preparing hot water.

Ajout eau chaude dans le Natron.

Adding hot water to the Natron.

Mélange eau chaude + Natron.

Hot water + Natron.

Figure 3 : Etape de préparation du solution natronée.

La deuxième étape concerne la filtration de la solution de Natron à l'aide d'un tissu fin de maille de 30 μ m, cette étape permet aussi de décanter les boues de natron et obtenir ainsi une solution limpide.

La troisième étape quant à elle a consisté à l'ajout de sel, du NPK et d'urée dans la solution préparée à la deuxième étape.

A l'issue de ces étapes l'eau de vie pour la culture de la spiruline est ainsi obtenue. Cependant, le fer, la chaux et l'eau de cendre sont complétés goutte à goutte après l'ensemencement de la spiruline. La figure 4 résume les différentes étapes de la fabrication de l'eau de vie.

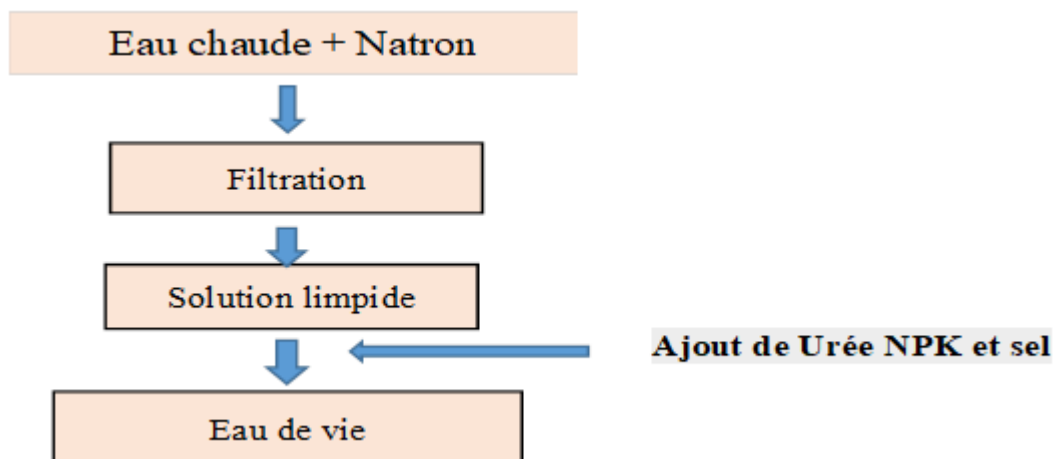


Figure 4 : Diagramme de l'élaboration de l'eau de vie.

Diagram of the elaboration of brandy.

Préparation de la solution de fer

La solution du Fer utilisée est obtenue en faisant dissoudre 50 g de ferfol dans 1 litre d'eau distillée. Dans cette solution, il est ajouté du jus de citron pour faciliter l'absorption du fer par la spiruline (Jourdan, 2012).

Préparation de l'eau de cendre

La solution d'eau de cendre utilisée a été préparée en faisant dissoudre 1kg de cendre de bois des ligneux (manguier) dans 5 litres d'eau. Le mélange était laissé se décanter puis était filtré à l'aide d'un tissu à maille fine pour obtenir une solution (Jourdan, 2012).

Ensemencement

Les cuvettes ont étéensemencées avec une proportion de 2/3 et 1/3, c'est-à-dire un (1) litre de solution contenant la souche pour deux litres d'eau de vie.

Suivi des paramètres de la production

Les paramètres de la production de la spiruline, à savoir la température, le pH, la hauteur de la solution de culture eau et la densité de la spiruline ont été mesurés trois fois par jour (matin, midi, après-midi), tout en faisant attention à la couleur et à l'odeur de la spiruline.

Mesure du pH et de la température

Le pH du milieu de culture a été mesuré directement à l'aide d'un pH-mètre préalablement calibré à l'aide d'une solution de référence pH 7 et une solution de pH 10, ce pH-mètre permet également de déterminer la température du

milieu.

Niveau d'eau dans le bassin de culture

Le niveau du milieu de culture dans le bassin a été apprécié selon la méthode de Lecointre (2017), qui consiste à plonger une règle dans le bassin de culture et lire la valeur indiquée. Ainsi, la valeur lue est la hauteur d'eau du milieu.

Mesure de la concentration

La détermination de la concentration en spiruline a été faite grâce au disque de Secchi.

La méthode consiste à agiter le milieu à l'aide d'une spatule en bois pour homogénéiser afin de permettre aux cellules d'accéder aux nutriments et à la lumière. Ensuite, le disque de Secchi est plongé dans le milieu. Cette opération permet d'apprécier la concentration en spiruline dans le milieu.

Taux de croissance de la spiruline

Le taux de croissance μ a été utilisé pour décrire l'évolution de la croissance de la spiruline en fonction du temps.

Ce taux est calculé à partir de l'équation décrite par Baourab *et al.*, 2002 : $\mu A = A2 - A1/t2 - t1$ avec A2 et A1 qui représentent la densité (Secchi) aux temps t1 et t2.

Suivi morphologique de la spiruline

Le suivi a consisté en une observation microscopique périodique de la spiruline. En effet, un prélèvement est effectué tous les cinq (5) jours afin de noter la forme de la spiruline au cours de son développement.

Récolte de la spiruline

La récolte a été réalisée à l'aide de deux tamis de mailles différentes : le premier tamis de maille 300 μ , a été utilisé pour intercepter les corps étrangers tels que les insectes, larves, feuilles, boues ou grumeaux de spirulines. Le second tamis de maille plus fine (30 μ) a été utilisé pour retenir la spiruline.

Pressage, extrudage et séchage

Le pressage a été fait à l'aide de presse mécanique permettant ainsi d'évacuer le maximum d'eau possible. La biomasse issue du pressage est pesée, extrudée en forme de spaghetti et répartie sur des claies de séchage. La spiruline extrudée est séchée dans le séchoir solaire. Le temps de séchage dure au maximum quatre (4 à 6) heures de temps.

TRAITEMENT ET ANALYSE DES DONNEES

Les données collectées ont été saisies et traitées à l'aide de logiciels R version 3.6.0 pour l'analyse de la croissance moyenne de la spiruline, de Microsoft Excel version 2013 pour le test de corrélation et la conception des tableaux et graphiques.

RESULTATS ET DISCUSSION

RESULTATS

Caractéristiques globales de la croissance de la spiruline en fonction

des saisons

La croissance de la spiruline a été mesurée par le suivi de l'évolution de la concentration du milieu au moyen du disque secchi. La cinétique de cette croissance matérialisée par la figure 7 indique que la multiplication de la spiruline est cyclique. En effet, le cycle de cette algue présente trois phases de croissance caractéristiques. Il s'agit de :

une première phase (A) correspondant à la phase d'adaptation de la spiruline dans son milieu de culture. Cette phase dure environ une journée ;

une deuxième phase (B), dite phase de croissance exponentielle constatée pour les trois saisons, cette phase s'étale sur environ 4 à 5 jours ;

une troisième phase (C) correspondant à la phase stationnaire marquée par l'épuisement des nutriments dans le milieu de culture. A ce niveau il y a deux possibilités : soit ajouté de l'eau de vie en vue de dédoubler la population, soit récolté la spiruline déjà concentrée.

Cependant, la dynamique de croissance observée selon les trois saisons (figure 7), indique que la saison des pluies et la saison sèche chaude présentent globalement les mêmes tendances de croissance. Il convient de noter que la croissance est beaucoup plus prononcée en saison de pluies avec un pic de taux de croissance (μ) de 2,5 observés pendant le mois de juillet.

Ainsi, la saison sèche froide présente le plus faible taux de croissance enregistré avec un pic ($\mu = 1,6$) observé en février (figure 7)

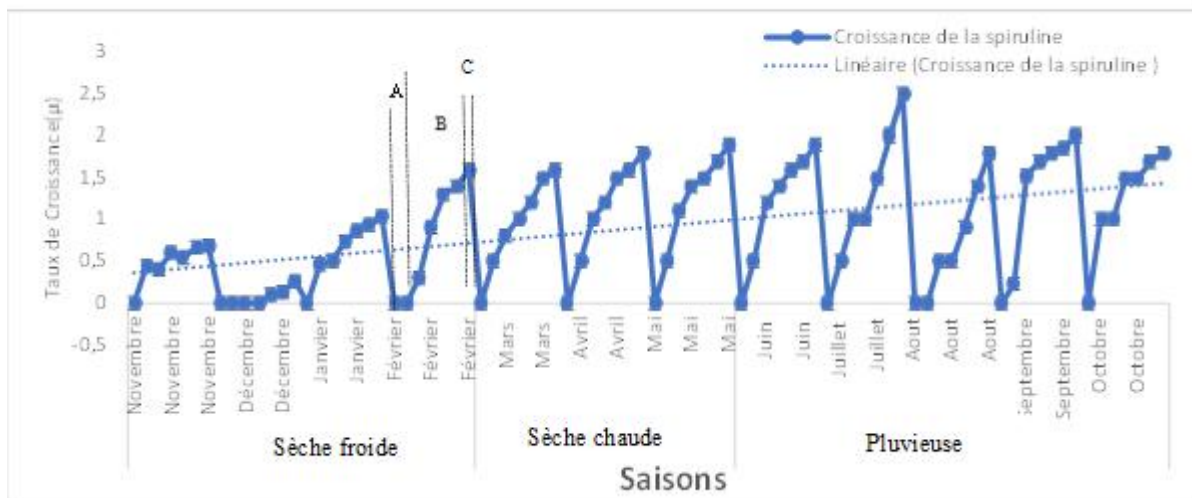


Figure 7 : Croissance de la spiruline en fonction des saisons au Niger.

Growth of spirulina according to the seasons in Niger.

Tableau 2 : Croissance moyenne de la spiruline en fonction des saisons.*Average growth of spirulina according to the seasons.*

Saisons	Croissance Moyenne \pm SE	N	Min	Max	P-value
Sèche Chaude	1,061 \pm 0,05 a	28	0,00	1,60	0,001 **
Pluvieuse	1,115 \pm 0,04 a	28	0,00	2,50	
Sèche et Froide	0,493 \pm 0,03 b	21	0,00	1,90	

La variation des saisons influe la croissance de la spiruline (P-value = 0,001) (Tableau 2). Ainsi, la croissance moyenne de la spiruline enregistrée pendant la saison sèche chaude (1,061 \pm 0,05) et pendant la saison des pluies

(1,115 \pm 0,04) ne présente pas de différence significative, mais elles sont significativement supérieures à la saison sèche froide qui présente une croissance moyenne de 0,493 \pm 0,03.

Tableau 3 : Croissance de la spiruline selon les différents mois de l'année.*Growth of spirulina according to the different months of the year.*

Mois	Croissance moyenne de la Spiruline \pm SE	N	Min	Max	P-value
Septembre	1,303 \pm 0,83 a	7	0,00	2,00	0,019 *
Octobre	1,214 \pm 0,62 ab	7	0,00	1,80	
Mai	1,157 \pm 0,68 ab	7	0,00	1,90	
Juin	1,158 \pm 0,67 ab	7	0,00	1,92	
Juillet	1,214 \pm 0,86 ab	7	0,00	2,50	
Avril	1,086 \pm 0,64 ab	7	0,00	1,80	
Mars	0,943 \pm 0,57 ab	7	0,00	1,60	
Février	0,786 \pm 0,68 ab	7	0,00	1,60	
Août	0,729 \pm 0,68 ab	7	0,00	1,80	
Janvier	0,644 \pm 0,35 ab	7	0,00	1,03	
Novembre	0,474 \pm 0,23 ab	7	0,00	0,68	
Décembre	0,070 \pm 0,10 b	7	0,00	0,26	

L'analyse du tableau 3 fait ressortir la croissance moyenne mensuelle de la spiruline obtenue au cours de différents essais de production. Ainsi, les croissances moyennes des mois de janvier (0,644), février (0,786), mars (0,786), Avril (1,086 \pm 0,64), mai (1,157) juillet (1,214) et août (0,729) ne sont statistiquement pas différentes. Néanmoins une différence a été observée entre la croissance moyenne du mois de décembre (0,070 \pm 0,10) et celle de septembre (1,303 \pm 0,83) (tableau3). Aussi, la croissance moyenne de ces deux mois

(septembre, décembre) sont statistiquement différents aux dix (10) autres mois de l'année. De façon générale, la croissance de la spiruline varie d'un mois à un autre (P-value = 0,019).

Rendement de la spiruline selon les différentes saisons au Niger

Le tableau 4 illustre les rendements en biomasse de spiruline exprimés en g/l en fonction des trois saisons au Niger (saison sèche chaude, saison hivernale et saison sèche froide).

Tableau 4 : Rendements en biomasse de spiruline exprimés en g/l en fonction des trois saisons au Niger.*Spirulina biomass yields expressed in g / l according to the three seasons in Niger.*

Saisons	Biomasse sèche (g/l) Moyenne \pm SE	Min	Max	p value
Sèche chaude	0.53 \pm 0.03 a	0.50	0.57	0.109
Hivernale	0.51 \pm 0.10 a	0.44	0.67	
Sèche et froide	0.34 \pm 0.15 a	0.21	0.50	

Le rendement moyen de la biomasse sèche (g/l) de la spiruline ne présente aucune différence

significative quel que soit la saison (p value= 0.109) (tableau 4).

Influence des paramètres de culture sur la productivité de la spiruline au Niger

la croissance de la spiruline, la température et le pH.

Le tableau 5 renseigne sur la corrélation entre

Tableau 5 : Corrélation entre la croissance de la spiruline, la température et le pH.

Correlation between spirulina growth, temperature and pH.

	Taux de croissance (μ)	Température °C	pH
Taux de croissance (μ)	1		
Température °C	0,150592967	1	
pH	0,259555388	0,735497191	1

L'analyse du tableau 5 indique l'existence d'une corrélation entre la croissance de la spiruline, le pH, et la température. Cette corrélation est plus ou moins forte avec le pH (0,25) qu'avec la température (0,15), même si elle est inférieure à 0,5. Aussi, l'analyse des informations

consignées dans le tableau 6 conclut sur l'existence d'une forte corrélation entre la température relevée au cours de la production et le rendement en biomasse sèche de la spiruline obtenue.

Tableau 6 : Corrélation entre la production en biomasse sèche, la Température et le pH.

Correlation between dry biomass production, temperature and pH.




Corrélation	Biomasse sèche (g/l)	Température °C	pH
Production en biomasse sèche (g/l)	1		
Température °C	0,823850347	1	
pH	0,574852651	0,625436169	1

L'analyse du tableau 6 montre une forte relation linéaire entre la production en biomasse sèche de la spiruline, la température et le pH. Cette corrélation est beaucoup plus importante entre la biomasse sèche et la température du milieu ($r = 0,82$) qu'avec le pH ($r = 0,57$).

Caractérisation morphologique de la spiruline en fonction des saisons au Niger

Les observations macro et microscopiques réalisées ont permis de caractériser la morphologie de la spiruline et l'aspect du milieu de culture selon les différentes saisons (Tableaux 7 et 8). Ainsi, le tableau 7 donne les résultats du suivi macroscopique de la spiruline dans son milieu de culture en fonction des saisons au Niger.




Tableau 7 : Caractéristiques macroscopiques de la spiruline selon les saisons.*Macroscopic characteristics of spirulina according to the seasons.*

Saisons	Couleurs/forme	Observations
Sèche chaude	Vert bleu	A 
Pluvieuse	Vert bleu foncé	B 
Sèche et froide	Vert bleu clair fibreux	C 

L'observation macroscopique de la spiruline pendant les différents essais a permis de relever deux sortes de couleurs caractéristiques selon les saisons. Ainsi, la saison sèche chaude et la saison des pluies présentent les mêmes couleurs caractéristiques (figure A et B). Le milieu de la culture est homogène pour les deux premières saisons (saison sèche chaude et saison des pluies). Cependant, la saison sèche froide présente une particularité : couleur (bleu clair) et formation des cellules fibreuses.

Les résultats du suivi microscopique (tableau 8) révèlent une variabilité morphologique de la spiruline en fonction des saisons. La forme spiralée avec des spires plus ou moins serrées a été plus représentée (figure A, B). Aussi, une forme ondulée avec spirales étirées a été également relevée au cours de ces essais (figure A). En effet, les nombres de spires observées varient en fonction des saisons. Le nombre de spires le plus important (9 à 20) a été constaté pendant la saison sèche froide puis en saison sèche chaude (4 à 15 spires).

Tableau 8 : Caractéristiques microscopiques de la spiruline selon les saisons.*Microscopic characteristics of spirulina according to the seasons.*

Saisons	Nombres de spires	Formes de spires	Vue microscopique à l'objectif 40
Sèche chaude	7 à 15 spires	Spirale condensée, parfois étirées	A 
Pluvieuse	7 à 9 spires	Spirale condensée	B 
Sèche froide	9 à 20 spires	Spirale cylindrique circulaire	C 

DISCUSSION

La production de la spiruline réalisée suivant les trois saisons a permis de déceler les tendances de croissance de la spiruline au Niger. Ainsi, la croissance la plus importante a été observée pendant la saison des pluies suivi de la saison sèche chaude. Aussi, le plus faible taux de croissance a été observé en saison sèche froide.

Cette différence de tendance de croissance de la spiruline peut être expliquée par les conditions agro-climatiques plus favorables pendant les deux premières saisons (saison des pluies et saison sèche chaude) par rapport à la saison sèche froide. En effet, cette dernière (saison froide) est caractérisée par une forte évaporation d'eau. Ce phénomène nécessite une compensation fréquente du milieu de culture avec comme conséquence l'épuisement des éléments nutritifs nécessaire à la croissance de la spiruline. Ce même constat a été fait par Léonarden (2018), selon lequel, la saison des pluies présente des conditions favorables à une bonne production de la spiruline. Ces résultats corroborent également à ceux obtenus par (Salomez *et al.*, 2009), où ils observent que les micro algues se divisent très vite et peuvent produire rapidement des biomasses lorsque l'environnement est favorable. Selon Olguin (2000), certains facteurs notamment la température, la salinité, la solubilité des gaz et la disponibilité des nutriments dans le milieu de culture influencent non seulement la productivité mais aussi la composition chimique de la spiruline. Les températures moyennes des saisons (saison sèche chaude, saison des pluies et saison sèche froide) enregistrées au cours de cette étude étaient respectivement de 27,78°C ; 30,46°C ; 25,71°C, elles sont inférieures à la température optimale de production de spiruline (37°C). Cependant, elles sont largement supérieures à la limite inférieure de tolérance qui est de 20°C (Jordan, 2012). Les valeurs moyennes de pH oscillent entre 9,91 et 10,02 durant toute la période de production. Ces résultats sont proches à ceux de Florent (2017) qui affirme que le pH idéal pour une bonne croissance de la spiruline est 9,5. Le pH obtenu durant les différents essais de production présente l'avantage d'empêcher la prolifération des micro-organismes susceptibles de contaminer la culture (Jordan, 2012).

L'examen microscopique des échantillons de culture a révélé une variabilité morphologique de la spiruline en fonction des saisons. Cette même

observation a été faite par Léonarden (2018) et Kebede (1997).

Le rendement moyen de la biomasse sèche (g/l) de la spiruline ne présente aucune différence significative quel que soit la saison. Ces résultats pourraient s'expliquer, par la variabilité de la température au cours de chaque saison, même si la saison sèche froide présente globalement les températures les plus basses de toutes les saisons.

CONCLUSION

Les variations des saisons influent sur le rendement de la spiruline. Aussi, la saison sèche froide limite la croissance de la spiruline. Selon les résultats obtenus, la croissance de la spiruline varie en fonction du mois de l'année, cette croissance est beaucoup plus prononcée en juillet.

Les essais réalisés ont permis également de montrer que la température et le pH du milieu de culture sont des facteurs très importants pour une bonne croissance de la spiruline. Aussi, les analyses statistiques ont montré qu'il existe une corrélation entre la croissance de la spiruline, le pH et la température. Ainsi, le Niger est un pays qui réunit les conditions agro-climatique pour une bonne production de la spiruline. En perspective de recherche une optimisation de la production de la spiruline sera réalisée.

REFERENCES

- Antenna technologie, 2007. Malnutrition. Spiruline : quelques bases scientifiques.
- Bouarab L., Loudiki M, Dauta A. (2002). Croissance en autotrophie et en mixotrophie de la microalgue *Micractinium pusillum* Fres. Isolée d'un lagunage naturel : influence de la lumière et de la température, revue des sciences de l'eau, volume 15, numéro 176p.
- Branger B, Cadudal J L, Delobel M, Ouoba H, Yameogo P, Ouedraogo D, Guerin D, Valea A, les personnels des CREN, Zombre C, Ancel P., 2003. La spiruline comme complément alimentaire dans la malnutrition du nourrisson au Burkina-Faso Spiruline 10 (2003) 424-431.
- Charpy L., Langlade MJ. Et Alliod R., 2008 « La spiruline peut-elle être un atout pour la santé et le développement en Afrique ? »

- IRD, p 49.
- Chentir I et Doumandji A, 2016. Evaluation de la croissance d'une souche de spiruline autochtone isolée du Sahara Algérien (*Arthrospira* SP.) et étude de l'effet de l'intensité de la lumière sur le taux de phycocyanine. *Revue Agrobiologia*, 6(2), 176-183.
- Evoli Conseil.2014 : Rapport final d'étude - Culture et vente de Spiruline/ : Etude de faisabilité économique 84p.
- Florent, L N U., 2017 : Optimisation de la culture de la spiruline en milieu contrôlé : éclairage et estimation de la biomasse. Thèse de Doctorat, Université Toulouse 3 Paul Sabatier (UT3 Paul Sabatier) Cotutelle internationale avec l'Institut National Polytechnique Félix Houphouët- Boigny de Yamoussoukro (INP-HB), 123 p.
- Hu Q., 2004. Industrial production of microalgae cell mass and secondary products major industrial species: *Arthrospira* (*spirulina*) *platensis*. In Richmond, A. Handbook of microalgal culture: Biotechnology and applied phycology, Blackwell, Oxford, 264-272.
- Jourdan JP., 2011. Cultivez votre Spiruline. Edt. Antenna Technologie : 223p.
- Jourdan, J-P., 2012. « Cultivez votre spiruline », manuel de culture artisanale. 226 p.
- Kaboré F., 2001. Réhabilitation nutritionnelle des enfants malnutris VIH positifs et négatifs par la spiruline et le Misola à Ouagadougou. Mémoire de DEA, Université de Ouagadougou, 45p.
- Lecointre, R., 2017. Optimisation de la production de spiruline dans une ferme à Madagascar afin de lutter contre la malnutrition infantile. Mémoire Ingénieur Agroalimentaire. 70 p.
- Léonard B., 2018. Etat de production et capacité énergétique de la spiruline dans la ferme de culture de l'Association du Dispensaire trottoir de Bobo-Dioulasso (Burkina Faso). Mémoire de fin de cycle en vue de l'obtention du Diplôme d'Ingénieur du Développement Rural Option : Eaux et Forêts. Université Forêts. Université Nazi Boni (UNB) .47p.
- Olguin E. J. 2000. The cleaner production strategy applied to animal production. In : Olguin E. J., Sanchez G., Hernandez E. (EDS) *Environment biotech. and clean processes*. Taylor & Francis, London: 227-241.
- Ould B. T, Bouchabchoub A, Massoui M, EL Yachoui M. 2013., culture et production de *spirulina platensis* dans les eaux usées domestiques. 4 (2013), 107-122
- Pendey J P., Tiwari A, Singh S, Tiwari D, 2011. Potential of different light intensities on the productivity of *spirulina maxima*. *J of Algal Biomass Utilization*, 2, 9-14.
- Rahanatou, K., 2019, Analyse de la production et de l'utilisation de la spiruline au niveau de la communauté urbaine de Niamey. 56 p.
- Salomez M., Mathieu H., Laurent G., 2009. Opportunité de développement de la filière micro algue à l'île de la Réunion. Version n°1 92 p ; Disponible sur le site [w.w.w.arer.org](http://www.arer.org).
- Van Eykelenburg, C., 1979. The ultrastructure of *Spirulina platensis* in relation to temperature and light intensity. *Antonie Van Leeuwenhoek* 45, 369-390.
- Vonshak A. 1997b. *Spirulina: growth, physiology and biochemistry*. In : Vonshak A (Ed.) pp 43-65.
- Vonshak, A. & Tomaselli, L., 2002. in *The Ecology of Cyanobacteria* (eds. Whitton, B. A. & Potts, M.) 505-522.