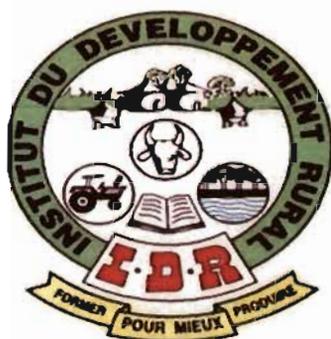


BURKINA FASO
UNITE-PROGRES-JUSTICE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR, DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE ET DE L'INNOVATION (MESRSI)

UNIVERSITE NAZI BONI (UNB)

INSTITUT DU DEVELOPPEMENT RURAL (IDR)



MEMOIRE DE FIN DE CYCLE

En vue de l'obtention du
Diplôme d'Ingénieur du Développement Rural
Option: Eaux et Forêts

Thème :

**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)**

Présenté par: **BOUNGUEMBE Léonard**

Directeur de Mémoire: **Pr André T. KABRE**

Co-Directeur de Mémoire: **Dr Bilassé ZONGO**

Table des matières

Table des matières.....	i
Dédicace.....	iii
Remerciements.....	iv
Sigles et abréviation.....	vi
Liste des tableaux.....	vii
Liste des figures.....	vii
Liste des photos.....	viii
Liste des annexes.....	viii
Résumé.....	ix
Abstract.....	x
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I : GENERALITES.....	4
1.1. Généralités sur la zone d'étude.....	4
1.1.1. Climat.....	4
1.1.2. Pluviosité.....	5
1.1.3. Températures.....	5
1.1.4. Structure d'accueil et site de l'étude.....	6
1.1.4.1. Structure d'accueil.....	6
1.1.4.2. Site de l'étude : la ferme de spiruline de l'Association du Dispensaire Trottoir de Bobo-Dioulasso.....	7
1.2. Revue bibliographique sur la spiruline.....	9
1.2.1. Taxonomie de la spiruline.....	9
1.2.2. Composition nutritionnelle de la spiruline.....	12
1.2.3. Culture de la spiruline.....	13
1.2.3.1. Influence du climat.....	13
1.2.3.2. Conditions de croissance de la spiruline.....	14
1.2.3.3. Les contaminations dans le milieu de culture.....	15
1.2.3.3.1. Contamination par les petits animaux.....	16
1.2.3.3.3. Contamination par les minéraux.....	17
CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES.....	19

II.1. Matériel	19
II. 2.1. Mesure des paramètres physicochimiques	20
II. 2.2. Espèces de spiruline et contaminations dans le milieu de culture de la ferme	22
II.2.2.1. Collecte d'échantillons	22
II.2.2.2. Identification de la spiruline et des contaminations	22
II.2.3. Evaluation de la production de la spiruline dans les bassins	23
II.2.3.1. Les bassins de culture	23
II.2.3.2. Nature et richesse du milieu de culture ou Milieu Nutritif	24
II.2.3.3. Conduite, récolte et entretien de la culture	25
II.2.3.3.1. Conduite et récolte	25
II.2.3.3.2. Entretien de la culture	27
II. 2.4. Détermination de la capacité énergétique de la spiruline	28
II. 2.4.1. Analyses sur composition nutritionnelle de la spiruline	28
II.2.4.1.1. Détermination du taux de matières grasses	29
II.2.4.1.2. Détermination du taux de sucres (glucides)	30
II.2.4.1.3. Détermination du taux de protéines totales	32
II.2.4.1.4. Détermination du taux de cendres	33
II.2.4.1.5. Détermination du taux d'humidité	33
II.3. Traitement et analyse des données	34
CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION	35
III.1. Paramètres physico-chimiques du milieu de culture et rendement	35
III.2. Différentes espèces de spiruline et contaminations dans les bassins de culture	37
III.2.1. Les différentes espèces de spirulines	37
III.2.2. Contaminations dans les bassins de culture	38
III.3. Etat de la production de la biomasse	39
III.4. Valeur énergétique de la spiruline	40
III.4.1. Composition nutritionnelle de la spiruline	40
CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	43
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	45
ANNEXES	I

Dédicace

Je dédie ce mémoire à :

Mon père feu **BOUNGUEMBE Michel**

Ma mère **MAYAYA Jacqueline**

Pour l'amour du travail qu'ils m'ont inculqué

Ma femme **Cormelia MAHOUE INDAVE** pour son soutien indéfectible pour tout ce que j'entreprends dans le cadre de mes études

Remerciements

Le présent mémoire est le fruit des contributions de plusieurs personnes morales et physiques. Qu'il nous soit permis à travers ces lignes, de signifier notre reconnaissance envers toutes ces personnes. Nous remercions tout d'abord les autorités de l'Université Nazi BONI (UNB), en particulier celles de l'Institut du Développement Rural (IDR) d'avoir assuré notre formation.

Ainsi nous tenons à remercier particulièrement:

- Pr André T. KABRÉ, Directeur du Laboratoire de Recherche et de Formation en Pêche et Faune (LaRFPF) et également notre Directeur de mémoire qui a proposé le Thème. Nous le remercions d'avoir bien voulu être notre Directeur. Nous avons également bénéficié de ses multiples conseils et connaissances tout au long de notre formation malgré ses multiples occupations. Nous le remercions d'avoir contribué grâce à sa rigueur scientifique à l'amélioration de ce travail ;
- Dr Bilasse ZONGO, notre Co-Directeur de mémoire. Merci pour votre grand sens de la rigueur scientifique et votre grande disponibilité malgré vos multiples occupations. Nous avons énormément appris à vos côtés. Trouvez dans ce document le couronnement de ces efforts ;
- Dr Lassina OUATTARA, M. Benjamin KOAMA, Dr Souleymane SANOGO, tous enseignants à l'Université NAZI BONI, merci pour vos grandes contributions à la réalisation de certaines activités de cette étude, pour vos multiples conseils et encouragements ;
- Mme Saly HEMA SANON, Directrice de l'Association Dispensaire Trottoir de Bobo Dioulasso (ADTB) pour nous avoir acceptés au sein de la structure en tant que stagiaire, merci pour votre franche collaboration ;
- M. Bernabé Yacouba OUATTARA, technicien à la ferme de production de la spiruline pour son aide sur le terrain et sa franche collaboration durant le stage ;
- M. Jean Serges PALENFO, doctorant au LaRFPF. Nous le remercions pour son aide et sa contribution à la réalisation de notre document ;

- M. Justin OUEDRAOGO ; Mlle Assétou SAWADOGO, tous étudiants stagiaires au laboratoire de pharmacologie de l'Institut de Recherche en Sciences de la Santé (IRSS), merci pour vos aides et soutiens multiformes ;
- Ma précieuse famille ;
- Mlle Oumou Koulsouma OUEDRAOGO pour son soutien indéfectible ;
- Mon compatriote Georges GUIBIGA, pour son soutiens et avec qui j'ai passé ce stage professionnel ;
- Monsieur le Président du jury et les membres du jury pour leur disponibilité à juger ce travail ;
- Nous ne manquerons pas de remercier tous les collègues et amis notamment de l'IDR pour cet esprit fraternel que vous avez toujours développé au cours de ces années passées ensemble, puisse cet esprit demeurer durant toute notre vie ;
- Nous tenons enfin à remercier tous ceux ou celles qui de près ou de loin ont contribué à l'accomplissement de ce travail et dont les noms n'ont pas pu être cités ici, nous leur disons merci.

Sigles et abréviation

AACC :	Association des Agences-Conseils en Communication,
ACIA :	Agence Canadienne d'Inspection des Aliments
AFSCA :	Agence Fédérale pour la Sécurité de la Chaîne Alimentaire
ADTB :	Association du Dispensaire Trottoir de Bobo-Dioulasso
AOCS:	American Oil Chemist's Society
CSPS :	Centre de Santé Public et Social
IDR :	Institut du Développement Rural
INSD :	Institut National de la Statistique et de la Démographie
OCADES :	l'Organisation Catholique de Développement et de Solidarité
CODEGAZ :	Coopération Développement Gaz de France
LaRFPF :	Laboratoire de Recherche et de Formation en Pêche et Faune
LVEEM :	Laboratoire vellave sur l'élaboration et l'étude des matériaux
PNUD :	Programme des Nations Unies pour le Développement.
PSU :	Practical Salinity Unit
PV VIH :	Personne Vivant avec le VIH
SIDA :	Syndrome d'Immuno Déficience Acquis
UNB :	Université Nazi BONI
VIH :	Virus de l'Immunodéficience Humaine.

Liste des tableaux

Tableau I: Nomenclature de la spiruline	9
Tableau II: Morphologie de la spiruline.....	10
Tableau III: Composition du milieu de culture de la spiruline	25
Tableau IV: Valeur physiologique des nutriments.....	28
Tableau V: concentrations et densités optiques donnant la courbe d'étalonnage pour le dosage des sucres.....	31
Tableau VI: Méthode de détermination de la valeur nutritionnelle de la spiruline.....	34
Tableau VII: Paramètres physico-chimiques et rendement.....	35
Tableau VIII: Composition nutritionnelle de la spiruline	41

Liste des figures

Figure 1: Carte de localisation de la ville de Bobo-Dioulasso dans la Province de Houet.	4
Figure 2: Pluviométrie à Bobo Dioulasso de 2007 à 2017.....	5
Figure 3: Températures moyennes annuelles à Bobo-Dioulasso de 2007 à 2017.....	5
Figure 4: Schéma des bonnes conditions de culture de la spiruline.....	15
Figure 5: Processus de culture et de production de la spiruline	23
Figure 6: Courbe étalonnage	32
Figure 7: Evolution du pH au cours de la production	35
Figure 8: Courbe de températures moyennes pendant l'étude.....	36
Figure 9: Poids total sec de la spiruline produit par mois	39

Liste des photos

Photo 1: Bassins de culture de la spiruline.....	7
Photo 2: Points d'eau	8
Photo 3: Equipements du local de traitement de la spiruline	8
Photo 4: Identification au microscope de la spiruline et des contaminations.....	22
Photo 5: Technique de récolte de la spiruline	26
Photo 6: Extrusion et séchage de la spiruline.....	26
Photo 7: Conditionnement de la spiruline	27
Photo 8: Appareil et mode d'extraction des lipides	29
Photo 9: Séparation du solvant des lipides.....	30
Photo 10: Détermination des glucides.....	31
Photo 11: Vue générale au microscope d' <i>Arthrospira platensis</i>	37
Photo 12: Morphologie d' <i>Arthrospira platensis</i>	37
Photo 13: Larves d'insectes et feuilles de moringa dans un tamis	38
Photo 14: Contaminations	38

Liste des annexes

Annexe 1: Fiche de collecte des données sur la spiruline	I
Annexe 2: Matériel de collecte et de stockage des échantillons de spiruline.....	I
Annexe 3: Matériel de mesure des paramètres physico chimiques.....	II
Annexe 4: Matériel d'identification de la spiruline et des contaminants.....	II
Annexe 5: Purge d'un bassin de culture	III

Résumé

La présente étude menée sur l'état de production et capacité énergétique de la spiruline dans la ferme de culture de l'Association du Dispensaire Trottoir de Bobo Dioulasso (ADTB) entre dans le contexte de la gestion des milieux de culture de la spiruline en vue de l'accroissement de la productivité des bassins et garantir la qualité de la spiruline produite. Plus spécifiquement il s'est agi pour nous de : mesurer les paramètres physico-chimiques, déterminer les différentes espèces de spiruline et les contaminations dans les bassins de culture, évaluer la production de la spiruline dans la ferme et enfin déterminer la capacité énergétique de la spiruline produite. Au cours de la période de l'étude, 13,642 kg de spiruline ont été produits en cinq mois. Nous avons observé une forte fluctuation des paramètres physico-chimiques allant d'août à octobre pour les températures de $23,57$ à $29,94^{\circ}\text{C} \pm 0,59$ et de $18,83$ à $26,44^{\circ}\text{C} \pm 0,77$ pendant la période de novembre à décembre. S'agissant des pH moyens des bassins, on a des valeurs qui oscillent autour de $9,04$ à $9,49 \pm 0,14$ les matins et de $8,98$ à $9,55 \pm 0,27$ les soirs pendant la période d'aout-octobre et de $10,63$ à $11,45 \pm 0,24$ les matins et de $10,61$ à $11,68 \pm 0,007$ les soirs pendant la période de novembre à décembre. Par ailleurs les résultats d'observation au microscope des bassins, ont permis d'identifier deux types de morphologies de l'algue : *Arthrospira platensis* de forme spiralée et *Arthrospira platensis* de forme ondulée. Le milieu de culture présente aussi quelques contaminants (*Chlorella sp*, *Phormidium sp*.) mais non nocifs à la consommation de l'algue. Au niveau de la capacité énergétique, l'étude a montré que la composition nutritionnelle et chimique de cette spiruline est 64,95% de protéines, 16,24% de glucides, 5,42% de lipides, 13,39% de cendres et une valeur énergétique de 3,79 kcal/g. Celle-ci pourrait corriger ponctuellement la malnutrition, l'anémie, la perte de poids et le traitement des personnes infectées par le VIH. Les résultats ont également montré que les conditions culturales sont tout à fait idéales pour permettre une croissance optimale de l'algue avec une consommation spécifique d'eau adaptée aux réalités climatiques du Burkina Faso. En effet, il ressort de notre étude que la culture de la spiruline (algoculture) est une activité très délicate car elle nécessite beaucoup de précautions dont entre autres : sa réalisation dans une enceinte bien protégée, un suivi rigoureux des différents facteurs pouvant influencer le développement de l'algue cultivée, la manipulation du milieu avec des comportements hygiéniques très stricts et un entretien permanent de la culture.

Mots clés : Spiruline, algoculture, capacité énergétique, Burkina Faso

Abstract

This study on the state of production and energy capacity of spirulina in the Bobo-Dioulasso Dispensary Clinic (ADTB) farm is part of the management of spirulina culture media in order to increase the productivity of the basins and guarantee the quality of spirulina produced. More specifically, it was for us to: measure the physicochemical parameters, determine the different species of spirulina and contamination in the culture basins, evaluate the production of spirulina on the farm and finally determine the energy capacity of the farm. spirulina produced. During the study period, 13.642 kg of spirulina were produced in five months. We observed a strong fluctuation of the physico-chemical parameters from August to October for the temperatures from 23.57 to 29.94 ° C ± 0.59 and from 18.83 to 26.44 ° C ± 0.77 during the period from November to December. The average pH of the basins has values ranging from 9.04 to 9.49 ± 0.14 in the mornings and from 8.98 to 9.55 ± 0.27 in the evenings during the winter period. August-October and from 10.63 to 11.45 ± 0.24 in the mornings and from 10.61 to 11.68 ± 0.007 in the evenings during the period from November to December. In addition, the results of microscopic observation of the basins, made it possible to identify two types of morphologies of the seaweed: *Arthrospira platensis* of spiral form and *Arthrospira platensis* of wavy form. The culture medium also has some contaminants (*Chlorella* sp, *Phormidium* sp.) But not harmful to the consumption of the algae. In terms of energy capacity, the study showed that the nutritional and chemical composition of this spirulina is 64.95% protein, 16.24% carbohydrates, 5.42% lipids, 13.39% ash and an energy value of 3.79 kcal / g. It could punctually correct malnutrition, anemia, weight loss and the treatment of people infected with HIV. The results also showed that the growing conditions are ideal for optimal growth of the alga with a specific water consumption adapted to the climatic realities of Burkina Faso. Indeed, it is clear from our study that the cultivation of spirulina (algoculture) is a very delicate activity because it requires a lot of precautions, among others: its realization in a well protected enclosure, a rigorous follow-up of the different factors that can influence the development cultivated algae, handling the environment with very strict hygienic behavior and permanent maintenance of the crop.

Keywords: Spirulina, seaweed farming, energy capacity, Burkina Faso.

INTRODUCTION

Micro-organisme aquatique de 0,3 mm de long, dont le nom scientifique est *Spirulina sp* ou *Arthrospira sp*, appartenant à la classe des cyanophycées, la spiruline se situe à la frontière entre le règne végétal et animal et vit de photosynthèse comme les plantes et est mobile comme les animaux. Elle prospère naturellement dans les lacs salés et alcalins des régions chaudes du globe (JOURDAN, 2012). Selon SGUERA (2008), les deux espèces les mieux connues sont *Spirulina platensis*, originaire d'Afrique découverte par le professeur Creac'h (1939) dans un marché au Tchad dans la région du Kanem et dont les vertus ont été mises véritablement en valeur par le botaniste Jean Léonard (1965); et *Spirulina maxima* originaire d'Amérique centrale découverte par les européens à travers la conquête de l'Amérique.

Nourriture traditionnelle des Aztèques du Mexique et des Kanembous du Tchad, plus riche en protéine que la viande, la spiruline est maintenant cultivée dans de grandes usines aux USA, en Inde, en Chine, en Thaïlande et aussi de façon semi-artisanale, car on lui découvre toujours plus de qualités intéressantes pour l'alimentation et la santé tant pour les Hommes que pour les animaux, mais aussi en cosmétique (JOURDAN, 2012). La spiruline connaît un regain d'intérêt croissant depuis ces cinquante dernières années comme l'attestent les nombreuses publications scientifiques qui lui sont consacrées et qui ont permis de découvrir en elle de multiples vertus tant du point de vue nutritionnel que thérapeutique. Comme l'illustrent les travaux déjà réalisés par JOURDAN (2012) dans l'ouvrage « Cultivez votre spiruline et ceux de Fox R., dans : « Spirulina, production et potentiel » et « Spiruline, Technique, Pratique et Promesse » aux éditions Edisud.

Au regard de tous ces avantages nutritionnels et thérapeutiques de la spiruline qualifiée « d'aliment thérapeutique » ou nutraceutique, sa vente et sa consommation ont beaucoup augmenté dans les pays développés en tant que complément alimentaire pour les régimes diététiques, les sportifs de haut niveau et les végétariens. Sa production à grande échelle dans des pays comme le Chili, les Etats Unis, l'Inde, le Japon, la Thaïlande et la Chine a beaucoup influencé la production mondiale estimée à l'heure actuelle à 89000 tonnes par an (FAO, 2016).

Le Burkina Faso rencontre des problèmes de santé chez les populations avec des taux élevés de malnutrition protéino-énergétique chez les enfants.

En moyenne 39 % d'enfants de moins de 5 ans souffrent de la malnutrition protéino-énergétique chronique et 19% sont atteints de la forme sévère (INSD, 2003).

A cet effet la spiruline est adaptée pour la récupération de ces enfants malnutris au Burkina par le fait que celle-ci corrigerait ponctuellement l'anémie et la perte de poids selon une étude de réhabilitation nutritionnelle comparative, portant sur 84 enfants VIH-positifs et 86 enfants VIH-négatifs (SIMPORE *et al.*, 2005)

Ainsi, c'est dans cette vision que des fermes de production de spiruline ont été créées au Burkina Faso (BF) notamment à Koudougou en 1999 (Nayalgué 1600 m²) sous la direction de l'Organisation Catholique de Développement et de Solidarité (OCADES) en partenariat avec l'Association Française, Coopération Développement Gaz de France (CODEGAZ), à Loumbila (500 m²), à Ouahigouya (400 m²), à Sabou (125 m²), à Sapouy (50 m²) et à Bobo Dioulasso (54 m²) (Le Monde, 2006)

Une culture de spiruline réalisée en plein air ou sous serre est facilement envahie par d'autres algues, des microorganismes, des animaux ou d'autres contaminants. Elle donne également la possibilité de contenir plusieurs espèces de spiruline. Ainsi, il est impérieux de surveiller les cultures du point de vue contaminants et de connaître les différentes espèces présentes et des techniques permettant l'accroissement de la productivité des bassins de culture (JOURDAN, 2012).

La présente étude portant sur «l'Etat de production et capacité énergétique de la spiruline dans la ferme de culture de l'Association du Dispensaire Trottoir de Bobo Dioulasso» s'inscrit dans cette logique.

L'objectif général était de contribuer à l'amélioration des milieux de culture et de production de la ferme de spiruline pour une meilleure qualité dans la production de spiruline.

Plus spécifiquement, il s'agit :

- de mesurer les paramètres physico-chimiques des bassins de culture ;
- de déterminer les différentes espèces de spiruline et les contaminations dans les bassins de culture ;
- d'évaluer la production de la spiruline dans la ferme ;
- et de déterminer la capacité énergétique de la spiruline.

Pour atteindre nos objectifs, les hypothèses suivantes ont été formulées :

H1 : Il existe une variation des paramètres physico-chimique des bassins de culture entre les saisons;

H2 : Différentes espèces de spiruline et des contaminants existent dans le milieu de culture du fait de l'état à ciel ouvert des bassins ;

H3 : La production de la spiruline de la ferme est évaluée et connue ;

H4 : La composition nutritionnelle et chimique de la spiruline lui confère des propriétés valorisables pour la santé.

En plus de l'introduction et de la conclusion le présent mémoire comporte trois chapitres :

- le premier présente les généralités sur la zone d'étude et la revue bibliographique sur la spiruline ;
- le deuxième chapitre décrit le matériel et la méthodologie utilisés ;
- les résultats et la discussion sont présentés dans le troisième chapitre.

CHAPITRE I : GENERALITES

1.1. Généralités sur la zone d'étude

L'étude a été conduite dans la ville de Bobo Dioulasso, chef-lieu de la province de Houet, Région des Hauts Bassins situé à l'Ouest du Burkina Faso à $4^{\circ}17'52''$ de longitude Ouest et $11^{\circ}10'37''$ de latitude Nord.

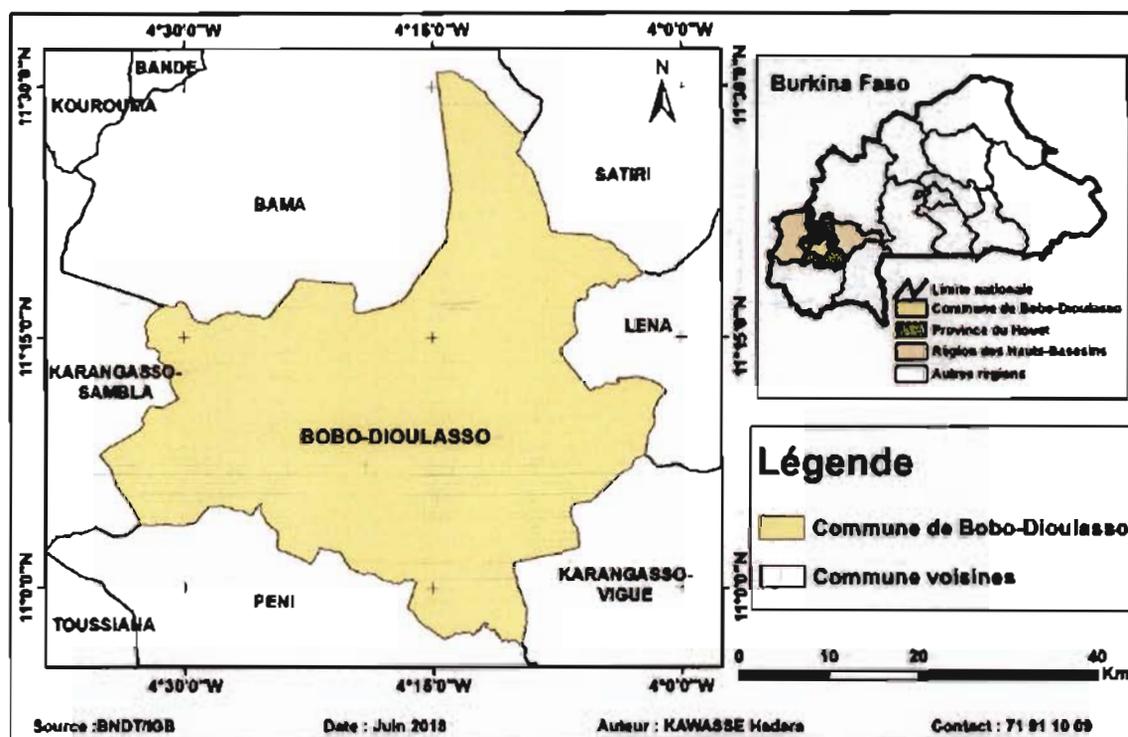


Figure 1: Carte de localisation de la ville de Bobo-Dioulasso dans la Province de Houet.

1.1.1. Climat

La ville de Bobo-Dioulasso est caractérisée par un climat de type soudanien (GUINKO, 1984) marqué par une alternance de deux saisons : une saison sèche allant de novembre à avril, avec une prédominance de l'harmattan et une saison humide ou saison de pluie allant de mai à octobre au cours de laquelle dominent les vents humides de la mousson (alizé austral) avec quelques millimètres de pluies enregistrées souvent durant les mois d'avril et de mars et quelques fois dans le mois de février et de novembre (BAHIRE, 2016).

1.1.2. Pluviosité

Les données pluviométriques de la station météorologique de Bobo-Dioulasso ont été utilisées. La pluviométrie à Bobo-Dioulasso de 2007 à 2017 est résumée dans la figure 2.

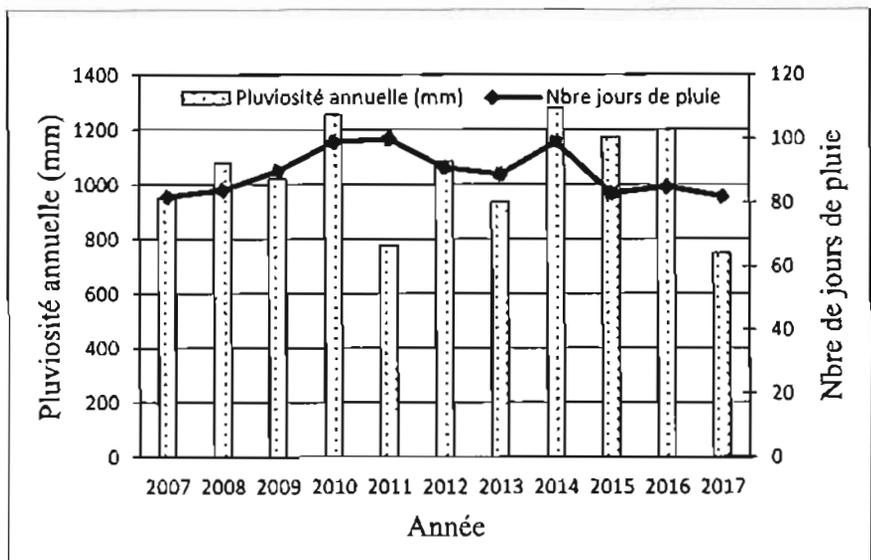


Figure 2: Pluviométrie à Bobo Dioulasso de 2007 à 2017

Source: Direction Générale de la Météorologie Bobo Dioulasso

1.1.3. Températures

La figure 3 suivante résume les températures moyennes annuelles à Bobo-Dioulasso de 2007 à 2017.

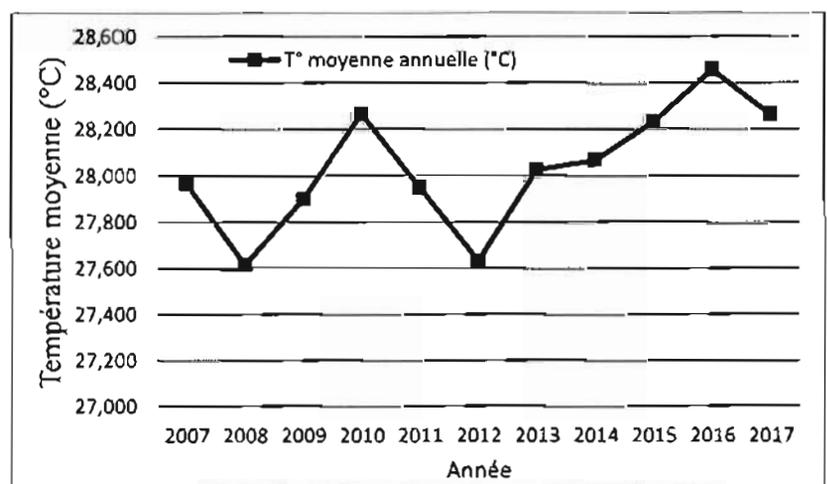


Figure 3: Températures moyennes annuelles à Bobo-Dioulasso de 2007 à 2017

Source: Direction Générale de la Météorologie Bobo-Dioulasso

1.1.4. Structure d'accueil et site de l'étude

Le stage effectué, a eu pour structure d'accueil l'Association du Dispensaire Trottoir de Bobo-Dioulasso (ADTB) et la ferme de production de spiruline de ladite structure comme site d'étude.

1.1.4.1. Structure d'accueil

Selon le rapport de présentation de la ferme de spiruline de l'ADTB (ADTB, 2015), l'Association du Dispensaire Trottoir est un centre privé non lucratif, créé en 1993 au bord de la rue par les soins que la fondatrice, Mme **Marie Laure FRIZON** apportait aux enfants démunis qui rodaient à longueur de journée sur les trottoirs. C'est un centre d'accueil, d'écoute, de conseil, de prise en charge, d'accompagnement et d'orientation pour les enfants et familles. Il est situé à Bobo-Dioulasso dans le 7^{ème} arrondissement au secteur 22 sur le boulevard de l'indépendance

C'est en 1998 que le Dispensaire trottoir s'est installé dans les bâtiments adaptés aux besoins des enfants et du centre. Il œuvre pour l'intégration socioéducative et sanitaire des enfants et leurs familles et comporte en son sein :

- trois classes préscolaires ;
- une classe d'alphabétisation ;
- une cantine scolaire ;
- un centre de santé de promotion sociale (soin infirmier et médical, consultation pré et post natale, planification familiale, soutien psycho social, récupération nutritionnelle pour les bébés mal nourris) ;
- Un centre de documentation ;
- Trois bassins pour la culture de la spiruline
- Une zone d'activités de production (champs de moringa et de céréales, pondeuses....).

Ainsi, le centre bénéficie de l'appui technique et financier de certains partenaires comme :

- Action social du Burkina Faso ;
- Ministère de la santé du Burkina Faso ;
- Des œuvres hospitalières de l'Ordre des Maltes ;
- Partage (France) ;

- Maison des associations de lutte contre le SIDA (Burkina) ;
- Les Amis d'Afrique (Espagne) ;
- Solidarité SIDA (France) ;
- Dons et legs de diverses nationalités.

1.1.4.2. Site de l'étude : la ferme de spiruline de l'Association du Dispensaire Trottoir de Bobo-Dioulasso

La ferme de production de la spiruline de l'ADTB est située au sein même de l'association, à proximité immédiate du dispensaire, de l'école maternelle et de la cantine, ce qui lui donne une bonne visibilité et une bonne intégration dans l'ensemble des activités de l'association. Cette proximité favorise la bonne sensibilisation des publics-cible à la culture et la consommation de la spiruline (PV-VIH, enfants, personnes malades ou malnutris...)

Elle comporte en son sein :

- une surface de culture d'environ 54 m², répartis en trois bassins (7,34 m²; 14,7 m² et 32 m²). Seul le bassin de 32m² est en activité en raison la de non disponibilité de quantité suffisante d'intrants (photo1). Des hangars permettent la protection des bassins et sont représentés par une armature en bois couverte par des tôles ;
- Une alimentation en eau se faisant au moyen d'un forage (photo2-A) associé à un château d'eau (photo2-B) suffisamment dimensionnés pour les besoins de la ferme. La qualité de l'eau du forage répond aux normes pour la consommation humaine et la production de la spiruline. (ADTB, 2015).



Bassins de culture de la spiruline non opérationnels



Bassin de culture de la spiruline en activité

Photo 1: Bassins de culture de la spiruline
Source: BOUNGUEMBE (2018)



Forage (A)



Château d'eau (B)

Photo 2: Points d'eau

Source: BOUNGUEMBE (2018)

- Un local de Pressage ; Extrusion ; Séchage ; Mouture et Conditionnement (photos 3-A à C). Les murs intérieurs du local sont bien carrelés afin de garantir une bonne hygiène lors des différentes étapes de production.



Presse mécanique (A)



Extrusion de la spiruline (B)



Four de séchage (C)

Photo 3: Equipements du local de traitement de la spiruline

Source: BOUNGUEMBE (2018)

- des canaux de distribution de la spiruline en interne. Ces principaux canaux de distribution sont :
 - ✓ La consultation et les PV VIH (Distribution sociale et Dons de spiruline)
 - ✓ La cantine scolaire (Dons de spiruline ; intégrée dans la bouillie)
 - ✓ Le Centre de Santé Public et Social (CSPS) : distribution sociale au dépôt pharmaceutique

Pour l'association, la distribution sociale de spiruline consiste à vendre 1 sachet de 50g à 750F CFA comparativement aux pharmacies qui vendent 20g à 1200Fcfa.

1.2. Revue bibliographique sur la spiruline

1.2.1. Taxonomie de la spiruline

Faisant partie des cyanobactéries, les spirulines sont donc une des plus anciennes formes de vie «photosynthétique» apparue sur la terre il y a environ trois milliards et demi d'années. La spiruline est considérée souvent comme une algue planctonique microscopique. C'est en fait une bactérie appartenant aux cyanobactéries filamenteuses du genre *Arthrospira*, le plus souvent enroulée en spires d'où son nom commercial. La terminologie de la spiruline est assez confuse, le tableau ci-dessous apporte des précisions sur les amalgames possibles (SGUERA, 2008).

Tableau I: Nomenclature de la spiruline

(SGUERA, 2008)

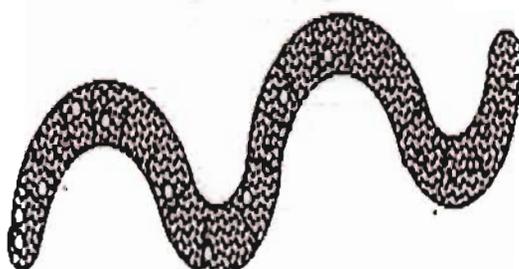
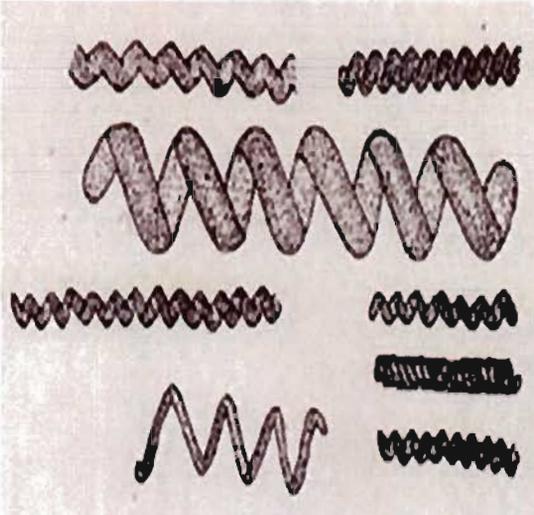
Spiruline ®	Nom commercial d'une cyanobactérie appartenant toujours au genre <i>Arthrospira</i>
Spirulina ®	Nom commercial anglais de la même cyanobactérie
<i>Spirulina</i>	Nom scientifique et taxonomique d'une autre cyanobactérie fort éloignée des <i>Arthrospira</i> Aucune à ce jour n'a été étudiée sous l'angle de l'alimentation humaine, et aucune n'est commercialisée à cette fin
<i>Arthrospira</i>	Nom scientifique et taxonomique d'un groupe de cyanobactéries auxquelles appartient notre spiruline alimentaire

La confusion entre les deux noms *Arthrospira* et *Spirulina* est due à la décision d'unifier les deux genres *Arthrospira stizenberger* et *Spirulina turpin* sur la base de leurs trichomes en spirale. (SGUERA, 2008)

Les différences morphologiques sont expliquées dans le tableau II ci-dessous.

Tableau II: Morphologie de la spiruline

SGUERA (2008)

<i>Arthrospira</i>	<i>Spirulina</i>
<ul style="list-style-type: none"> - Trichomes en hélice ouverte - Paroi cellulaire visible si les vacuoles à gaz ne sont pas trop nombreuses - Cellules de 6 à 12 μm de large, possibles constriction entre les cellules adjacentes. - Mobiles par rotation - La reproduction s'effectue par scission simple ou multiple, par bourgeonnement ou encore par fragmentation au hasard - ADN : 43 mol% de G+C 	<ul style="list-style-type: none"> - Trichomes en hélice presque fermée - Paroi cellulaire difficilement visible (gaine nonprononcée) - Cellules de 2 à 4 μm de large, de forme non fixe et avec peu ou pas de constriction entre les cellules adjacentes. - Mobilité permanente par rotation - La reproduction s'effectue probablement par rupture transcellulaire du trichome. - ADN : 44 à 53 mol% G+C
	

Source : SGUERA (2008)

Les deux espèces les mieux connues sont *Arthrospira platensis*, originaire d'Afrique et *Arthrospira maxima* originaire d'Amérique centrale.

L'espèce du Tchad *Arthrospira platensis* se compose de trichomes atteignant 350 μ de long, de 5 à 11 μ de diamètre, un peu rétrécis au niveau des articulations. Les tours de spire ont un diamètre de 20 à 50 μ , diminuant légèrement vers les extrémités.

L'espèce mexicaine *Arthrospira maxima* se caractérise par des trichomes de 7 à 9 μ de diamètre, de 70 à 80 μ de long, légèrement effilés aux extrémités, formant une spirale régulière de 3 à 8 tours et de 40 à 60 μ de diamètre. Les cellules constituant les trichomes mesurent 5 à 7 μ de long et ne se rétrécissent pas au niveau des articulations.



Arthrospira maxima (A)



Arthrospira platensis (B)

Source : SGUERA (2008)

Il existe plusieurs variétés ou espèces de souches différentes. Nous appelons "spirales type Lonar" les souches dont les filaments sont en "queue de cochon", telle la "Lonar" venant du cratère de Lonar dans l'État de Maharashtra en Inde et les "spirales ondulées" (ou "ondulées" tout court) les souches dont les filaments sont en spirale étirée, telle la "Paracas" provenant du lac de l'oasis d'Huacachina dans la région d'Ica au Pérou (JOURDAN, 2012).

Pour faciliter le choix et l'identification de la souche, nous pouvons retenir quelques éléments suivants :

- Les spirales type Lonar flottent plus que les ondulées et les droites, ce qui permet éventuellement leur séparation ;
- Les spirales filtrent mieux et leur biomasse fait la boule facilement sur le filtre, du moins lorsque le milieu de culture est assez pur ;
- La teneur en matière sèche dans la biomasse essorée prête au séchage est plus élevée chez les ondulées et les droites que chez les spirales type Lonar, ce qui est un avantage ;
- La biomasse des spirales types Lonar sèche plus facilement ;
- Les ondulées résistent au pompage par pompe centrifuge, alors que les spirales se cassent ;
- Les ondulées résistent mieux au choc osmotique (on peut pratiquement laver la biomasse avec de l'eau douce sans que les cellules n'éclatent).

1.2.2. Composition nutritionnelle de la spiruline

Contrairement à d'autres micro-organismes, telles que les Levures et les Chlorelles, la Spiruline est riche en micro nutriments facilement assimilables par l'organisme. Elle contient pratiquement tous les composants d'un aliment complet : protéine de haute valeur biologique en pourcentage considérable, glucides, sels minéraux, lipides, vitamines, fibres et l'eau (JESSICA BANKS 2007, JOURDAN, 2012).

Les proportions nutritionnelles de la spiruline peuvent être analysées comme suit :

- Fabuleuse source de protéines, de par sa teneur variant entre 50 et 70% du poids sec (deux fois plus que le soja, trois fois plus que la viande de bœuf, les protéines de la spiruline apportent à l'organisme la quasi-totalité des acides aminés essentiels, ce qui en fait un aliment indispensable pour les végétariens ;
- Les glucides représentent 13,6 à 25% de la matière sèche des Spirulines (FALQUET & HURNI, 2006). Selon JESSICA BANKS 2007, les glucides constituent 15 à 25 % de la masse des spirulines, dont la majorité à assimilation lente, ce qui est recommandé particulièrement pour les sportifs ;
- Riche en oligo-éléments et minéraux (7 % en poids, cendres totales : <10), La forte teneur en fer de la Spiruline permet de limiter les risques d'anémie, ce qui en fait un complément particulièrement recommandé pour les femmes enceintes et les enfants. A souligner la présence de calcium, de phosphore et de magnésium en quantité équivalente à celle contenue dans le lait ;
- Les lipides représentent généralement de 6 à 8% du poids sec de la Spiruline mais ce pourcentage peut atteindre 11% (HUDSON & KARIS, 1974). Riche en acides gras essentiels, la spiruline est considérée comme une des meilleures sources d'acide gamma-linolénique, rarement apporté par l'alimentation courante. La spiruline est donc recommandée en cas de carence en acides gras essentiels (LOIC CHARPY et al 2008);
- La spiruline est particulièrement riche en vitamines. Le bêta-carotène convertible en vitamine A présent, permet de couvrir les besoins journaliers d'un adulte avec seulement 2 g de spiruline. On trouve aussi de la vitamine E aux vertus anti-oxydantes, de nombreuses vitamines du groupe B, en particulier la vitamine B12 (quatre fois plus que dans le foie cru). Cette vitamine est la plus difficile à trouver dans un régime sans viande ;
- les fibres renferment 2 % en poids ;

- l'eau contient 5 % en poids
- Le contenu énergétique est de 5000 calories ou 20,9 kJ/ gramme sec.

1.2.3. Culture de la spiruline

La culture de la spiruline demeure une activité très délicate. Elle nécessite beaucoup de précautions dont entre autres: sa réalisation dans une enceinte bien protégée, la manipulation du milieu avec des comportements hygiéniques très stricts ; un suivi rigoureux des différents facteurs pouvant influencer le développement de l'algue cultivée (ZONGO et *al.*, 2008).

1.2.3.1. Influence du climat

Les deux paramètres fondamentaux qui contribuent à constituer le climat sont les températures et la pluviométrie.

La conduite de bassins de culture nécessite un minimum de ressources en eau. Les eaux de pluie sont intéressantes car propres et neutres (pas de minéraux en solution). Sous les climats à faible pluviométrie, ou à saison sèche longue, il peut être nécessaire de prévoir une citerne pour stocker de l'eau de pluie et compenser ainsi l'évaporation des bassins. Les excès de précipitations devront être prévus en construisant des bassins plus profonds ou en les protégeant. La carence en eau de pluie peut être compensée par l'utilisation d'eaux de provenances diverses (rivière ou fleuve, nappe phréatique, ...). Il faudra alors tenir compte de la qualité de l'eau dans la mise au point, puis l'entretien du milieu de culture.

Cependant, il ne faut pas négliger les vents dominants (par exemple l'harmattan Est au Sahara et en Afrique centrale et de l'Ouest), qui peuvent avoir des conséquences importantes sur l'évaporation d'un bassin de culture, sur la température de l'eau ou la "pollution" de ce bassin par tous les débris et les poussières qu'il peut entraîner. De même, certains éléments comme les haies, la présence de barres rocheuses, de forêts, etc. peuvent entraîner des conséquences importantes sur le microclimat, conséquences qu'il sera bon d'évaluer avant l'implantation d'un bassin. La construction de bassins sous serre ou en réacteurs fermés peut être d'autant plus intéressante que cet abri constitue non seulement une protection contre le froid, l'évaporation, les insectes et les poussières mais aussi contre les pluies diluviennes, comme les orages, qui peuvent faire déborder les bassins et donc provoquer une perte, ou au moins une dilution du milieu de culture (JORDAN, 2012).

1.2.3.2. Conditions de croissance de la spiruline

Pour se développer, il faut à la spiruline de l'eau, de la lumière, de la chaleur, et les éléments essentiels à la vie des plantes : carbone (C), azote (N), phosphore (P), potassium (K), fer (Fe) et magnésium (Mg).

La spiruline faisant également partie de la famille des cyanophycées, elle consomme du dioxyde de carbone (CO₂) et rejette du dioxygène (O₂) en présence de lumière.

Le CO₂ est donc lui aussi un facteur limitant. Il faut savoir que lorsque le pH dépasse 10,5, le CO₂ apporté est insuffisant pour compenser le prélèvement par la spiruline. Un apport de CO₂ assimilable par la spiruline sous forme de bicarbonate de sodium (NaHCO₃) est nécessaire pour combler les besoins dans le milieu de culture (SALOMONE, 2015)

Selon SGUERA (2008) la spiruline pousse à l'état naturel dans certains lacs alcalins (pH>7) : elle croît à l'état naturel dans des lacs saumâtres (salinité entre 10 et 34 PSU (unité représentant 1g de sel/kg - eau de mer : > 35PSU) des régions chaudes, dont le pH se situe entre 8,5 et 11 (le pH optimum pour une croissance florissante est de 9,5), notamment ceux du Mexique et du Tchad.

Cette micro-algue est présente naturellement dans des eaux comprises entre 20 et 40°C (optimum à 37°C, au-delà de 43°C la spiruline meurt et à 20°C la croissance est pratiquement stoppée) dans des bassins peu profonds (moins d'un mètre, en général autour de 20cm), brassés en permanence pour assurer une répartition régulière des éléments nutritifs et une exposition à la lumière.

La spiruline peut être obtenue en milieu naturel ou semi-naturel et en culture domestique contrôlée pour une production à diverses échelles (depuis la micro-production familiale jusqu'aux installations semi-industrielles). Les éléments de différenciation de ces modes de production sont la surface totale des bassins de culture et leurs surfaces unitaires, les moyens et matériaux utilisés, les degrés de technologie, les objectifs. Le processus de fabrication de la Spiruline passe cependant par les mêmes étapes (CHARPY, 2008), la figure 4 montre le schéma des bonnes conditions de culture de la spiruline.

Le meilleur rendement cellulaire de spiruline est obtenu pour une intensité lumineuse comprise entre 20 et 30 Klux, représentant à peu près la quantité d'éclairage d'une rue la nuit. En dessous, la composition de la cyanobactérie varie, avec une diminution des taux de

chlorophylle et de caroténoïde, mais un niveau de phycocyanine qui demeure constant. Il est néanmoins nécessaire de rappeler qu'une alternance jour/nuit est indispensable pour la culture de spiruline. Elle a la capacité de fixer l'azote atmosphérique, spécialement dans l'obscurité. Il faut donc créer cette alternance jour-nuit pour optimiser la production. Elle fixe également l'azote présent dans le milieu de culture ou dans les boues (FOX, 2008).

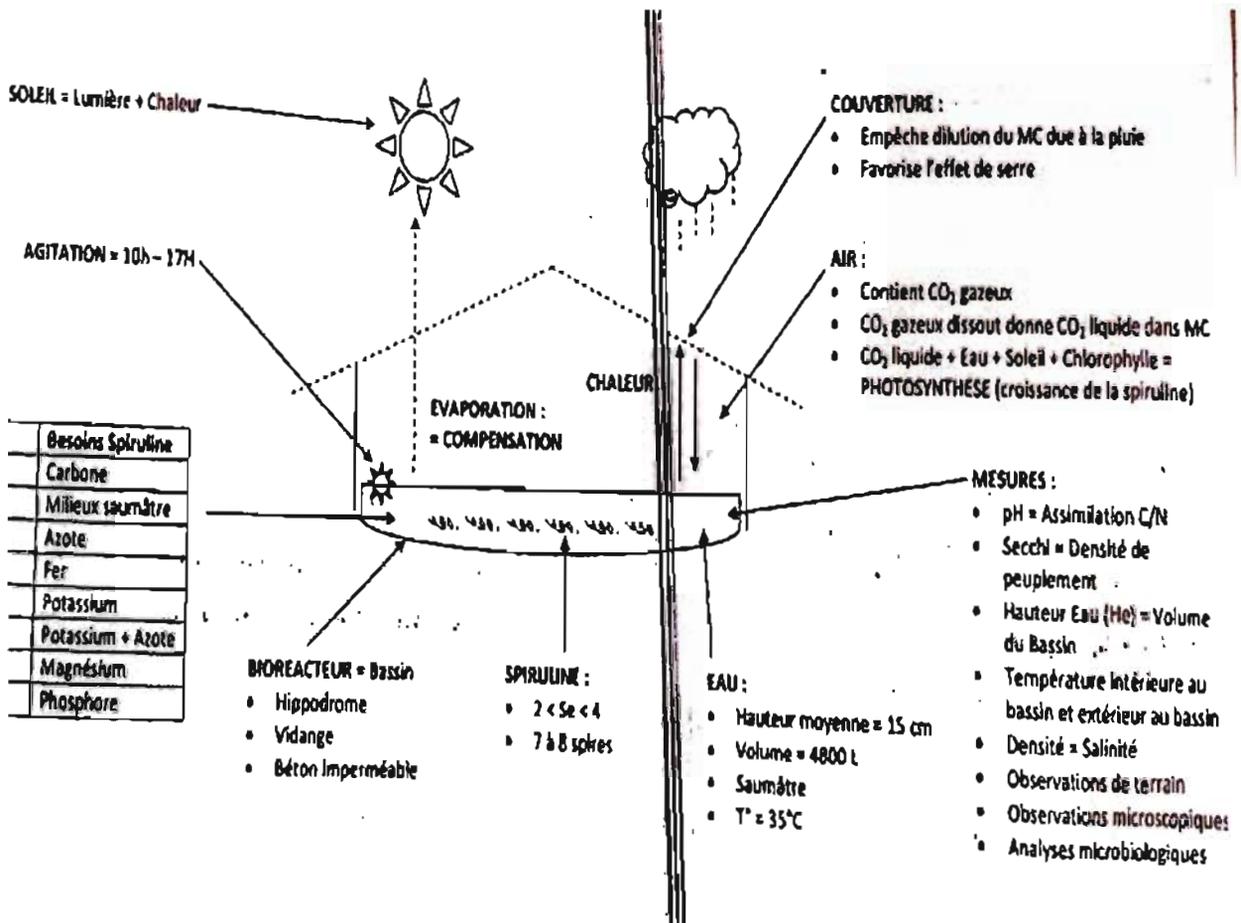


Figure 4: Schéma des bonnes conditions de culture de la spiruline
Source: SALOMONE (2015)

1.2.3.3. Les contaminations dans le milieu de culture

Il ne faut pas croire que seule la spiruline peut croître dans son milieu de culture, d'autres algues, des microorganismes et des animaux peuvent y vivre, d'où nécessité de surveiller les cultures du point de vue contaminants, surtout aux changements de saisons.

Une culture de spiruline réalisée en plein air ou sous serre est facilement envahie par d'autres micro-organismes qui sont apportés :

- soit par l'eau : source de ravitaillement en eau, eau de pluie ;
- soit par l'air : organismes fixés sur des poussières, les mains du personnel, du matériel souillé, des excréments d'insectes, d'oiseaux.

Les particularités du milieu limitent leur développement mais certains se développent et font partie intégrante de l'écosystème du bassin. Cependant, la plus part de ces micro-organismes sont non pathogènes pour l'homme surtout si l'on prend des mesures adéquates (JOURDAN *et al.*, 2012).

1.2.3.3.1. Contamination par les petits animaux

Il est inévitable que des insectes ou parfois de petits animaux (serpents, lézards, grenouilles, souris, escargots), des feuilles et autres débris végétaux tombent dans le bassin à ciel ouvert. On peut les enlever avec un filet, mais si on les laisse, ce qui n'est pas recommandé, ils finiront par être "digérés" par le milieu de culture et servir de nourriture à la spiruline.

Par contre certains vers et insectes sont capables de vivre dans le milieu de culture en parasites. C'est le cas des larves de la mouche *Ephydra* (petite mouche brune qui marche sur l'eau), des larves de moustiques, du zooplancton (rotifères, spécialement *brachyonus*, cyanophages et amibes capables de manger les spirulines). Pour permettre leur disparition on peut augmenter momentanément le pH jusqu'à pH 12 puis maintenir ce pH pendant une nuit et baisser le matin à pH 10. Parfois il suffit d'une brusque augmentation de la salinité de 3 g/l pour faire disparaître les envahisseurs (spécialement les larves). On peut aussi monter la température à 40°C. L'infestation par des larves dépend du lieu et du climat. Sous serre, le risque d'infestation est réduit ou annulé (JOURDAN 2012).

Les rotifères ne sont pas toxiques et ne mangent pas la spiruline spiralée en bonne santé, mais par contre se développent rapidement en cas de mauvaise santé de la spiruline et finissent par envahir la culture en lui donnant une coloration rougeâtre. Les rotifères sont très souvent présents dans les cultures à ciel ouvert, en petit nombre, et contribuent à éliminer les chlorelles et aussi les spirulines droites.

FOX (1986), explique que les amibes présentes dans une culture ont une probabilité quasi nulle d'être toxiques. Cependant par précaution, il est recommandé de ne pas

consommer fraîche la biomasse provenant d'une culture contenant des amibes. Lors du séchage à 65°C elles sont tuées.

1.2.3.3.2. Contamination par des algues étrangères

Les algues étrangères sont des espèces de micro-algues concurrentes à la spiruline. Elles apparaissent fréquemment et envahissent les cultures des spirulines. Elles ressemblent aux cyanobactéries filamenteuses droites appelées *Phormidium* qui consomment les intrants, aux chlorelles et naviculas qui apparaissent quand la culture est clairsemée et que la lumière pénètre dans le bassin profondément, aux cyanobactéries *Oscillatoria*, dont il existe des variétés toxiques (cyanotoxines). Les conditions environnementales et biologiques entraînant la production de ces composés toxiques n'ont pas encore été déterminées au niveau scientifique (JOURDAN, 2012). L'hypothèse la plus rationnelle est que certaines cyanobactéries produisent ces toxines lorsqu'elles entrent en concurrence avec d'autres cyanobactéries pour l'exploitation du milieu. Il existe trois types de cyanotoxines qui peuvent être classées comme suit par ordre de dangerosité :

- les neurotoxines dont l'organisme cible est le système nerveux ;
- les hépatotoxines dont l'organisme cible est le foie,
- les dermatotoxines dont l'organisme cible est la peau.

D'après JOCHIMSEN *et al.* (1998), les microcystines synthétisées par *Planktothrix agardhii*, auraient entraîné des déficiences hépatiques et la mort de patients traités dans un centre d'hémodialyse au Brésil en 1996. La même cyanobactérie aurait contaminé les organismes aquatiques du lac Varese en Italie en août 1997 (PRATI *et al.*, 2002). Cependant des études dont celle réalisée dans l'étang de Bolmon (CHOMERAT *et al.*, 2006 ; BRIAND *et al.*, 2002 ; KOHLER & HOEG, 2000), ont montré que la toxicité de *Planktothrix agardhii* n'est pas toujours exprimée. En ce qui concerne les Spirulines, elles ne possèderaient pas les gènes qui assurent la synthèse des cyanotoxines (EMBIEZ, 2004 ; SGUERA, 2008).

1.2.3.3.3. Contamination par les minéraux

Les problèmes de toxicité des minéraux tel que le plomb, le mercure, l'arsenic et le fluor semblent inexistantes sur la spiruline cultivée en milieu artificiel (SANTILLAN, 1974) Les valeurs observées sont en dessous des normes (FAO, 1972)

Une étude plus détaillée a montré que les teneurs en arsenic et surtout en fluorures peuvent être relativement élevées dans la spiruline récoltée en milieu naturel. Ces particularités proviennent certainement des compositions géologiques des régions concernées confirme la même source.

CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES

II.1. Matériel

La réalisation de cette étude a nécessité l'utilisation du matériel de terrain et du matériel de laboratoire.

➤ Matériel de terrain

Pour la conduite, la récolte, l'entretien de la culture de spiruline ainsi que son conditionnement, le matériel utilisé se compose comme suit :

- Règle graduée de 30 cm, support du disque de Secchi pour mesurer la profondeur de l'eau ainsi que la densité de la spiruline dans le bassin ;
- Un pH mètre de type ANNA instruments- HI 991001 pour mesurer du pH et la température de l'eau;
- Un densimètre pour mesurer la teneur en sel marin du milieu de culture ;
- Des récipients en plastique pour la récolte de la spiruline;
- Une pelle en plastique pour décolmater la spiruline pendant la filtration
- Une toile de filtration en polyester de 30 microns de mailles;
- Des tamis métalliques de mailles 0,2 mm utilisés au cours de la filtration de la spiruline;
- Une presse pour essorer la spiruline
- Une balance électronique de type proline pour peser la biomasse de la spiruline et les intrants;
- Un pistolet manuel à extruder de capacité 500 ml, modèle SIKA pour mettre la spiruline sous forme de spaghettis ;
- Des claies en grilles de 5 mm de mailles pour le séchage
- Un broyeur type moulinex pour rendre la spiruline en poudre;
- Des sachets plastiques pour le conditionnement de la spiruline ;
- Du formol pour la conservation des échantillons de spiruline,
- Des seringues en plastique pour prélever les échantillons
- Des pots plastic pour mettre des échantillons de spiruline pour identification au microscope au laboratoire ;
- Des fiches pour noter les mesures des paramètres effectuées ;
- Du papier adhésif pour étiqueter les pots après échantillonnage ;
- Un appareil photo ;

- **Matériel de laboratoire**

Le matériel de laboratoire utilisé comprend :

- Un microscope oculaire de marque ERNST LEITZ WETZLAR GERMANY utilisé pour l'observation des échantillons de spiruline ;
- Des lames et lamelles pour la préparation des échantillons ;
- Des documents d'identification des différentes espèces de spirulines ;
- Un extracteur Soxhlet pour l'extraction des lipides ;
- Un évaporateur rotatif ou rotavapor pour évaporer le solvant et récupérer les lipides ;
- Un spectrophotomètre pour lecture des absorbances lors du dosage des glucides ;
- Un matras pour le dosage des protéines.

II.2. Méthode d'étude

L'état de production et la capacité énergétique de la spiruline ont été traités suivant quatre activités pendant une durée de dix mois à compter de mi-août 2017.

II. 2.1. Mesure des paramètres physicochimiques

Il s'agit de suivre l'évolution des paramètres qui permettent d'apprécier une bonne croissance et qualité de la spiruline :

- **Mesure du pH du milieu de culture**

Le pH du milieu de culture est mesuré directement à l'aide d'un pH-mètre de type ANNA instruments HI 991001 (Annexe 3B). On trempe l'électrode de 2 à 3 cm en agitant légèrement, attendre la stabilisation de la lecture puis noter le pH. Pour la bonne utilisation de l'appareil, l'électrode est rincée à l'eau propre après usage puis le tremper dans une solution de KCl (renouvelée tous les deux mois) ;

- **Mesure de la température intérieure et extérieure du bassin**

Ces températures sont mesurés à l'aide du même pH mètre et permettent de connaître les conditions thermiques de croissance de la spiruline ;

- **Mesure du niveau d'eau dans le bassin de culture**

Le niveau du milieu de culture dans le bassin est mesuré à l'aide d'une règle graduée de 30 cm et toujours au même endroit (endroit de repérage). Cette mesure permet d'une part,

d'apprécier la vitesse d'évaporation de l'eau du bassin, d'autre part, de savoir la quantité d'eau à ajouter au milieu ;

- Mesure de la salinité

Cette mesure se fait à l'aide d'un densimètre. Elle consiste à remplir l'éprouvette graduée avec la solution contenue dans les bassins; plonger le densimètre et attendre sa stabilisation puis noter la valeur. Elle permet de connaître la salinité du milieu de culture dont les valeurs optimales se situent entre 1,008 et 1,012. Toutefois, on ajuste les quantités de NaCl lors du nourrissage des bassins ou lors de la purge ou l'ensemencement. En effet, la salinité du milieu nutritif (MN) doit être maintenue autour de 10g de NaCl par litre de MN (densité favorable au bon développement de la spiruline). Les variations de densité en marge de cette plage 10g de NaCl par litre entraînent des risques de développement d'autres algues ou microorganismes, impropres à la consommation voir toxiques (SUERA, 2008)

- Evaluation de la production relative de spiruline

Le disque de Secchi (instrument constitué d'une règle graduée de 30 cm de long, portant à son extrémité inférieure un disque blanc – Annexe 3A) donne une évaluation de la concentration du milieu en spiruline. Cette règle permet une mesure approximative, assez subjective de la production de la spiruline.

Avant l'évaluation, le milieu est agité puis laissé quelques minutes pour décanter les boues. Le disque Secchi est ensuite introduit verticalement dans le milieu de culture puis la profondeur est notée en centimètre juste où il devient impossible de distinguer le disque blanc.

Plus le Secchi est petit, plus le milieu est concentré. Lors des dilutions, ne pas aller au-delà de Secchi 10 et il faut éviter les concentrations trop fortes (Secchi 2 maximum).

L'évaluation approximative de la production de la spiruline a deux objectifs :

- ✓ Elle permet de savoir le moment idéal pour la récolte de la spiruline ;
- ✓ Elle permet aussi d'avoir une idée sur la vitesse de croissance de la spiruline dans un bassin, cette vitesse pourra s'exprimer en cm par jour par mètre carré de bassin ou en grammes par jour par mètre carré de bassin.

II. 2.2. Espèces de spiruline et contaminations dans le milieu de culture de la ferme

II.2.2.1. Collecte d'échantillons

A l'aide de seringues (Annexe 2A), nous avons pris sur trois niveaux (fond, milieu et surface) une quantité de 20 ml du contenu de bassin de culture de spiruline. 1,2 ml de formol ont été ajoutés aux flacons pour la conservation (Annexe 2B). Les échantillons recueillis sont ensuite étiquetés (date, heure, niveau de prélèvement) et amenés au laboratoire. Ils constituent le matériel de départ pour l'analyse.

II.2.2.2. Identification de la spiruline et des contaminations

L'identification de l'algue s'est limitée à l'espèce pour tous les échantillons de spiruline récoltée ainsi que les contaminations présentes dans le milieu de culture. Elle s'est faite par l'examen au microscope direct à l'objectif 40 entre lame et lamelle des différents échantillons de culture au laboratoire de Recherche et de Formation en Pêche et Faune (LaRFPF) tout en se référant aux différents documents consultés lors de lecture bibliographique sur les genres, les espèces de spiruline ainsi que les contaminations pouvant coloniser les milieux de culture, tels que :

- ✓ Manuel de culture artisanale de spiruline (Jourdan, 2012) ;
- ✓ Exploration hydrobiologique du lac Tanganika: le phytoplancton (Van Meel, 1954)

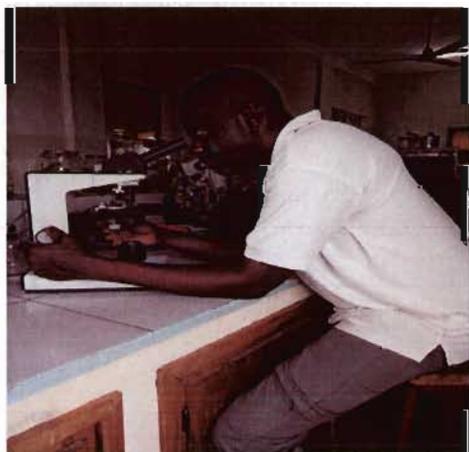


Photo 4: Identification au microscope de la spiruline et des contaminations

II.2.3. Evaluation de la production de la spiruline dans les bassins

L'évaluation de la production de la spiruline dans les bassins prend en compte :

- la capacité de production des bassins ;
- la nature et la richesse du milieu de culture (MC) ou Milieu Nutritif (MN) ;
- Les techniques de conduite, de récolte et d'entretien de la culture ;
- les conditions de croissance et de développement de l'algue ;
- les quantités de spiruline produite.

Ainsi, la méthode de culture et de production de la spiruline est représentée par la figure 5 ci-dessous.

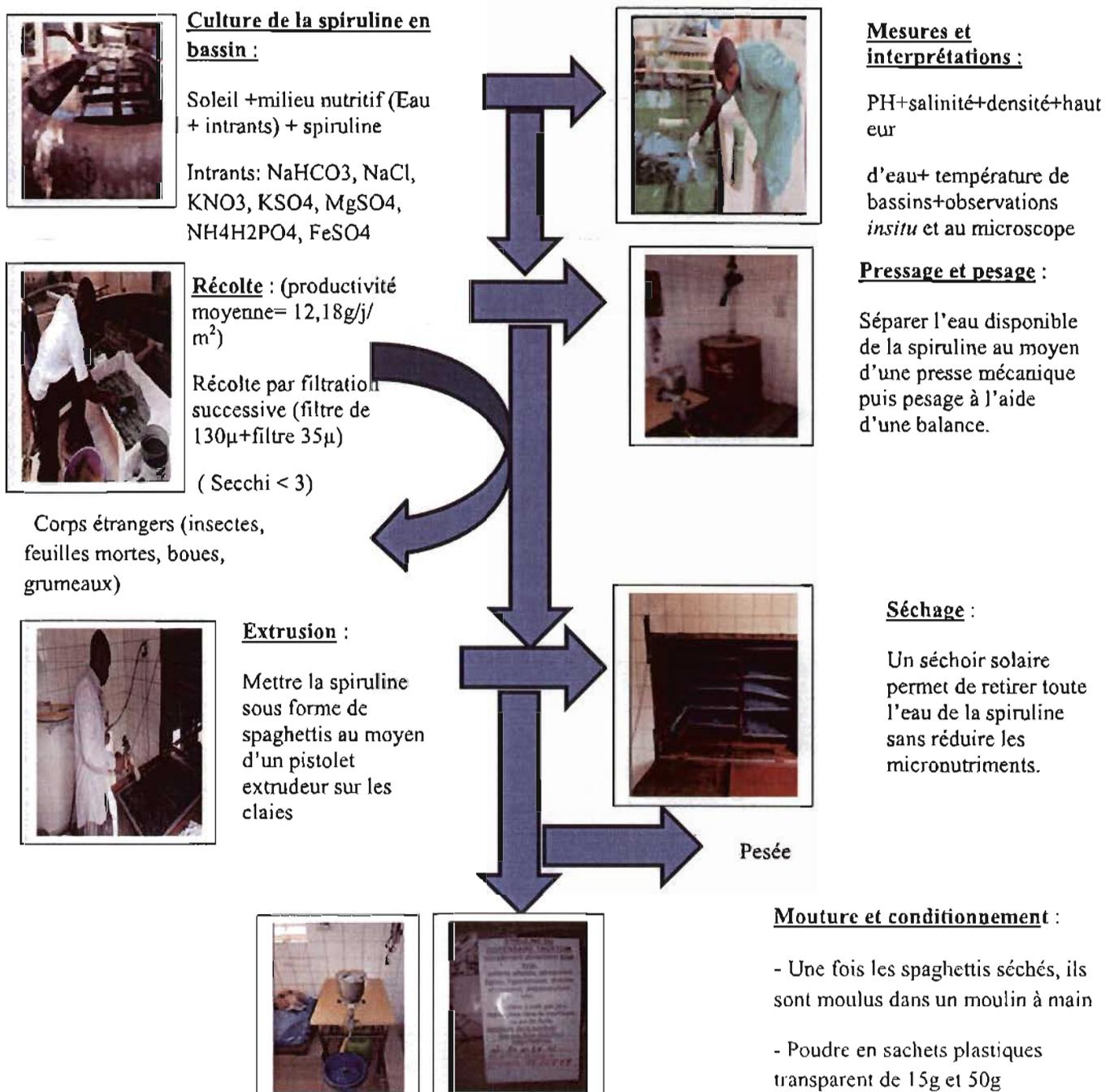


Figure5 : Processus de culture et de production de la spiruline (SALOMONE, 2015)

II.2.3.1. Les bassins de culture

La ferme de production de l'ADTB dispose de trois bassins de culture dont deux non opérationnels à raison de non disponibilité de la quantité suffisante d'intrants.

Le seul bassin en exploitation, d'une superficie de 32 m² est rectangulaire 9 m*3,6 m, aux angles arrondis, est construits entièrement en "dur" c'est-à-dire en briques cimentées et a une profondeur de 0,47 m. Il est équipé d'une pompe à agitation afin de créer un mouvement important sur la plus forte hauteur d'eau pour ainsi éviter la stagnation de la spiruline dans le fond du bassin.

Ce bassin est disposé sous un hangar de protection (photos1-A). Le toit du hangar est fait d'un mélange de tôles translucides en polyester-fibre de verre et non translucides. Un programmeur implanté permet d'alterner les périodes d'agitation et de repos de la spiruline tout au long de la journée.

II.2.3.2. Nature et richesse du milieu de culture ou Milieu Nutritif

La hauteur du milieu de culture dans le bassin est en moyenne de 15 cm.

Le milieu de culture est composé d'une solution de sels minéraux dans de l'eau potable provenant d'un forage (photo2-A) dans laquelle sont ajoutés des intrants (Bicarbonate de sodium 8g/l ; Urée 0,04 g/l ; Sel marin 5 g/l ; Nitrate de potassium 2 g/l ; Sulfate de potassium 1 g/l ; Sulfate de magnésium 0,02 g/l ; Phosphate monoammonique 0,02 g/l ; Sulfate de fer 0,001 g/l) ces derniers assurent un pH convenable basique mais inférieur à 11 et alimentent la spiruline.

La préparation du milieu de culture est réalisée selon la formule utilisée par JOURDAN (2012), les intrants utilisés et leur quantité en gramme pour un litre d'eau sont donnés par le tableau III.

Tableau III: Composition du milieu de culture de la spiruline

(JOURDAN 2012)

INTRANTS		Apport Intrants (besoins spiruline)	CONCENTRATIONS		
			Milieu nourrissage (g/l)	Milieu récolte (g/kg)	Milieu culture (g/l)
Bicarbonate de sodium	NaHCO ₃	carbone	0,1	200	8
Urée (carbamide)	CO(NH ₂) ₂	Azote	0,03	300	0,04
Sel marin	NaCl	Milieu saumâtre	-	20	5
Nitrate de potassium	KNO ₃	Potassium+Azote	-	10	2
Sulfate de potassium	KSO ₄	potassium	-	30	1
Sulfate de magnésium	MgSO ₄	magnésium	-	30	0,2
Phosphate monoammonique	NH ₄ H ₂ PO ₄	phosphore	-	-	0,2
Sulfate de fer	FeSO ₄	fer	-	2	0,001

II.2.3.3. Conduite, récolte et entretien de la culture

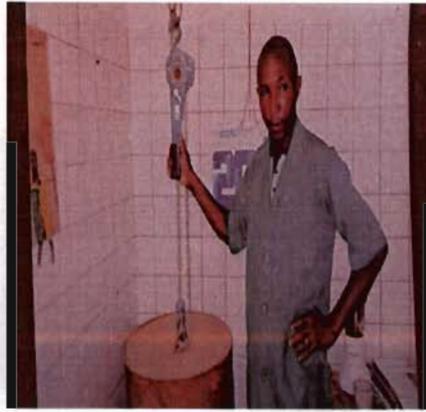
II.2.3.3.1. Conduite et récolte

Pour la conduite et la récolte de la culture de spiruline, la procédure employée est la suivante :

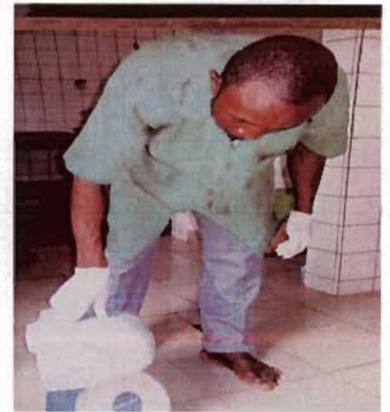
- La conduite et la récolte de la spiruline commence dès 7heures 30 minutes du matin car c'est le moment où presque la totalité de la spiruline surnage facilitant sa récolte (surtout la couche flottante). A la veille de la récolte, on vérifie que le Secchi obtenu sur le bassin est égal ou inférieur à 3 cm pour que celle-ci soit effective ;
- La récolte consiste à filtrer une partie de la culture (surtout la couche flottante) sur la toile de filtration, en recyclant le filtrat dans le bassin. La culture est envoyée sur la toile à travers le tamis de 0,2 mm de mailles, destiné à intercepter les corps étrangers tels les insectes, les larves, les feuilles, les boues ou grumeaux de spirulines ;
- Des mouvements imprimés avec la pelle en plastique à la biomasse et à la toile pour décolmater cette dernière, permettent d'accentuer la vitesse de filtration (photo4-A) ;
- La biomasse est ensuite essorée par pressage manuel après transfert sur une autre toile (photo4-B) puis elle est pesée (photo4-C) et le poids est noté dans un cahier.



Filtrage (A)



Essorage de la biomasse (B)



Pesage de la biomasse (C)

Photo 5: Technique de récolte de la spiruline

Source: BOUNGUEMBE (2018)

- La biomasse de spiruline est alors étalée en "spaghetti" à l'aide du pistolet extrudeur à silicone SIKA sur les claies (grilles de séchage, photo5-A) pour un séchage solaire indirect dans un séchoir à une température moyenne de 35 à 40°C (photo5-B) ;
- La présence des claies à l'intérieur du local, permet de conserver la qualité de la spiruline et son éventuelle pollution par des poussières. La proximité entre le poste d'extrusion et le séchoir permet un travail propre et rapide, évitant une exposition trop importante de la spiruline fraîche. Le séchoir ne possède pas de sonde permettant de contrôler la température et la durée de séchage.



Extrusion de la spiruline sur les claies (A)



Séchage au four (B)

Photo 6: Extrusion et séchage de la spiruline

Source : BOUNGUEMBE (2018)

- La spiruline sèche est récupérée dans l'après-midi par simple grattage, elle est alors pesée, puis moulue dans un moulin à main (photo 6-A) et conditionnée en sachets plastiques transparents de 15 et 50g, avec ajout d'une étiquette présentant ses principales qualités et utilisations et les principaux conseils de consommation et de conservation (photo 7 B et C).



mouture de la spiruline (A)



Sachets de spiruline conditionnés (B et C)



Photo 7: Conditionnement de la spiruline
Source: BOUNGUEMBE (2018)

11.2.3.3.2. Entretien de la culture

- L'agitation

L'agitation des bassins de culture de l'ADTB se fait à l'aide d'une pompe électrique ou d'un balai pour diminuer les risques de grumeaux et améliorer l'oxygénation du milieu tout en favorisant nettement son autoépuration ;

- L'entretien est suivi de la mesure des paramètres de croissance tels que le pH, la température ainsi que le niveau d'eau, la salinité et la densité de la culture ;

- Les purges

Elles s'effectuent principalement dans les cas suivants :

- ✓ Lors d'une grande pluie, le milieu est dilué par l'eau de pluie, ce qui fait baisser la concentration des sels présents. A cet effet, il faut retirer du bassin l'excédent du milieu de culture dilué par l'eau de pluie pour revenir au niveau initial de la culture, suivi du nourrissage du bassin.

- ✓ Après une saison ou si les boues formées par l'ajout d'intrants commencent à remonter à la surface ou si une odeur de vase se dégage : Il est possible d'aspirer ces boues du fond et de compenser ensuite avec du milieu de culture neuf pour réajuster le niveau du bassin, sinon il est possible de transvaser notre culture dans un autre bassin, le temps de nettoyer celui qui contenait la spiruline et de ré-transvaser notre culture (Annexe 5) ;
- Le renouvellement du milieu de culture

Au cours de la saison de culture, la salinité du milieu augmente ainsi que le pH essentiellement dû à l'ajout de bicarbonate de sodium ou de nitrate (Si la source de carbone est le CO₂, le renouvellement sera moins fréquent), le milieu devient alors trouble et coloré, voir visqueux. A cette coloration peut s'ajouter une forte odeur de vase.

SALOMONE (2014) recommande que le milieu doit être renouveler. Lors de la récolte, le filtrat n'est pas reversé dans le bassin. Il sera remplacé par du milieu neuf correspondant au filtrat éliminé. Le milieu de culture doit être renouveler tous les trois mois. Ce sera aux techniciens de surveiller la salinité, le pH ainsi que le rendement de la culture.

II. 2.4. Détermination de la capacité énergétique de la spiruline

II. 2.4.1. Analyses sur composition nutritionnelle de la spiruline

Ces analyses ont portées sur la détermination des taux des matières grasses (lipides), des glucides et des protéines au LaRFPF. Aussi le taux de centres et la valeur énergétique de la spiruline ont été déterminés.

Le tableau IV ci-dessous représente la valeur physiologique des nutriments.

Tableau IV: Valeur physiologique des nutriments (ACIA, 1997)

Éléments nutritifs	Kcal/g	KJ
lipides	9	38
protéines	4	17
glucides	4	17

1 calorie = 4,184 kilojoules.

La valeur énergétique de la spiruline a été calculée à partir des valeurs analytiques pour les protéines, les matières grasses, et les glucides à partir d'une quantité de spiruline conditionnée (spiruline en poudre).

En utilisant les valeurs d'énergie physiologique moyenne (tableau IV), la valeur énergétique théorique de la spiruline a été déterminée selon la formule :

$$E \text{ (kJ)} = 38(\text{kJ/g}) * \% \text{ matières grasses} + 17(\text{kJ/g}) * \% \text{ Glucides} + 17(\text{kJ/g}) * \% \text{ protéines}$$

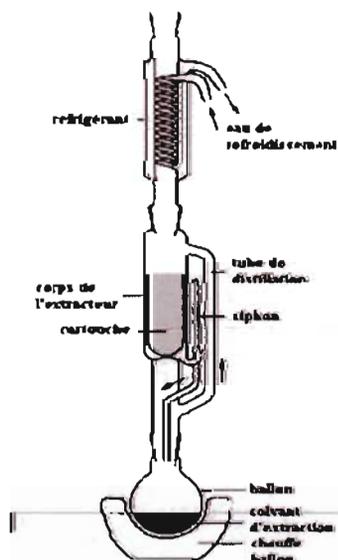
(SUGUERA, 2008)

II.2.4.1.1. Détermination du taux de matières grasses

La détermination des matières grasses a été faite selon la méthode d'extraction au soxhlet en utilisant l'éther de pétrole (40-60°C) comme solvant (LVEEM, 2015).

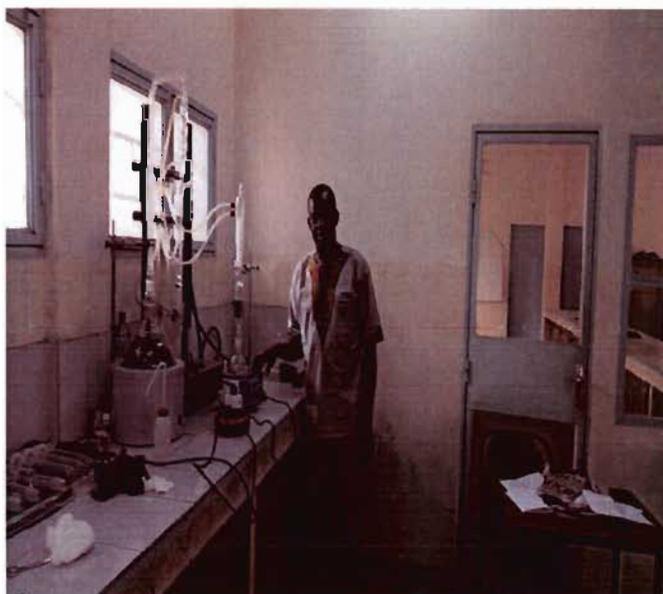
Pour l'extraction, le corps de l'extracteur (photo8-A), contenant une cartouche en papier-filtre épais (une matière pénétrable pour le solvant) remplie de 30g de spiruline bouchée avec du coton, est fixé sur un réservoir de solvant (ballon) et est surmonté d'un réfrigérant. Le solvant est vaporisé puis condensé, et reste en contact avec la spiruline.

La solution est soutirée périodiquement par l'amorçage d'un siphon. La solution du ballon s'enrichit petit à petit en soluté et la spiruline est toujours mis en contact avec du solvant fraîchement distillé. On admet que l'extraction est terminée lorsque la quantité dosée reste constante (incolore) photo8-B.



L'extracteur soxhlet (A)

Source : LVEEM (2015)



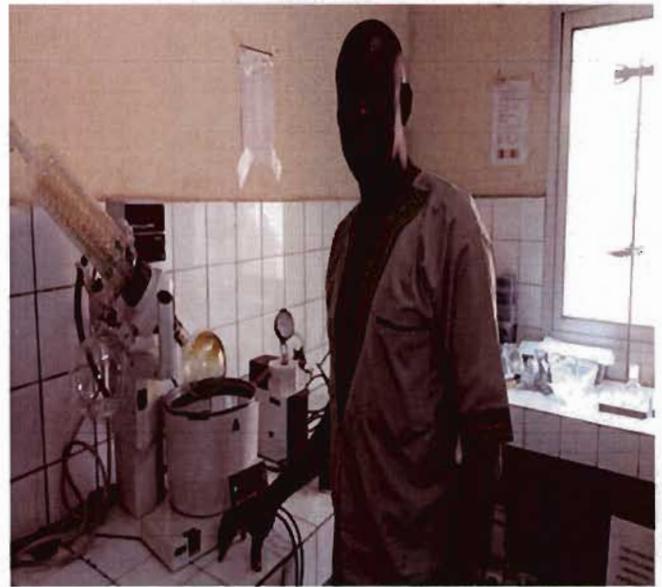
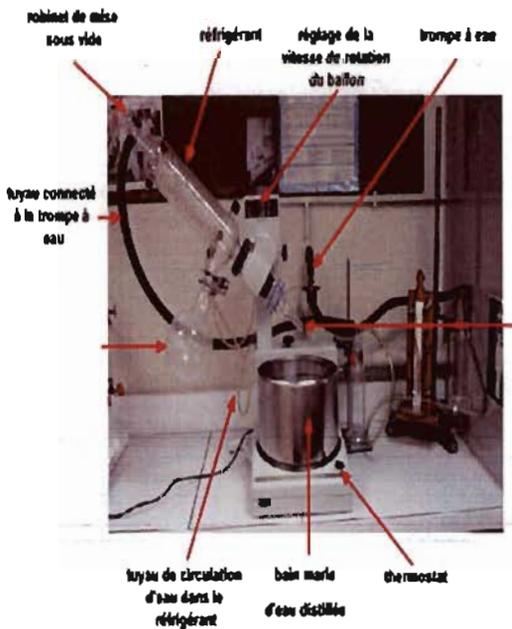
Extraction des lipides par l'extracteur soxhlet (B)

Photo 8: Appareil et mode d'extraction des lipides.

➤ évaporation du solvant et récupération des lipides

La séparation du solvant de l'extrait est faite à l'aide de l'appareil appelé évaporateur rotatif ou Rotavapor (photo8-A).

Les matières grasses recueillies dans le solvant sont ensuite évaporé au Rotavapor. Le ballon contenant la matière grasse est refroidi 30 minutes au dessiccateur et pesé (photo8-B).



Evaporation du solvant au rotavapor (B) (B)

L'évaporateur rotatif ou rotavapor (A)

Photo 9: Séparation du solvant des lipides

Expression des résultats

$$\text{Taux de matière grasses (\%)} = \frac{\text{PF} - \text{PO}}{\text{PE}} * 100$$

PE : Prise d'essai (30g)

PO : Poids du ballon vide

PF : Poids du ballon contenant les matières

II.2.4.1.2. Détermination du taux de sucres (glucides)

Le taux de glucides a été déterminé par la méthode de dosage enzymatique à l'amylase (AACC, 2018)

1gramme d'échantillon a été mis en solution dans 100 millilitres d'eau distillé (V). Après homogénéisation par chauffage à 80°C, l'échantillon a été filtré (extrait1).

Une dilution de 200 μ L de l'extrait I + 200 μ L de l'amylase + 5ml de Parahydrobenbenzoïque acide hydrazide (PAHBAH) a été effectuée et une autre de 200 μ L de sucrose + 200 μ L de l'amylase + 5ml de PAHBAH pour le test contrôle. La solution a été chauffée puis refroidit à 18°C

100 μ L d'homogénat ont été prélevé pour dosage dans des tubes à essai. Les tubes ont été portés au bain marie bouillant à 40°C pendant 30 minutes (photo9-A). Les absorbances ont été lu à l'aide d'un spectrophotomètre (photo9-B) pour obtenir les densité optiques (DO).



tubes dans le bain marie (A)

Lecture des absorbances au spectrophotomètre (B)

Photo 10: Détermination des glucides

La concentration (C) de sucre est déterminée grâce à une courbe étalonnage. Celle -ci a été obtenue en établissant une gamme de concentrations (Con) selon le tableau V à partir d'une solution de fructose à 1,5 g/l.

Ces gammes de concentrations ont été obtenues en multipliant la concentration initiale du fructose (1,5 g/l) par le facteur de dilution. Connaissant la densité optique de l'extrait et l'équation d'étalon, la concentration finale de l'extrait a été calculée et c'est à partir de la concentration finale et les différents volumes de dilution qu'a été déterminé la concentration initiale et le poids des sucres après dosage. Le rendement a été calculé à partir de la formule de l'expression des résultats ci-après.

Tableau V: concentrations et densités optiques donnant la courbe d'étalonnage pour le dosage des sucres

Con	0,3	0,06	0,012	0,0024	0,3	0,15	0,075	0,0375	0,01875	0,009375	0,00456875
DO	0,956	0,1695	0,0176	0,005	0,981	0,494	0,25	0,129	0,078	0,04	0,027
Ext I	0,073	0,212	0,090								

DO : densités optiques ; Con : concentrations ; Ext I : Etrait I

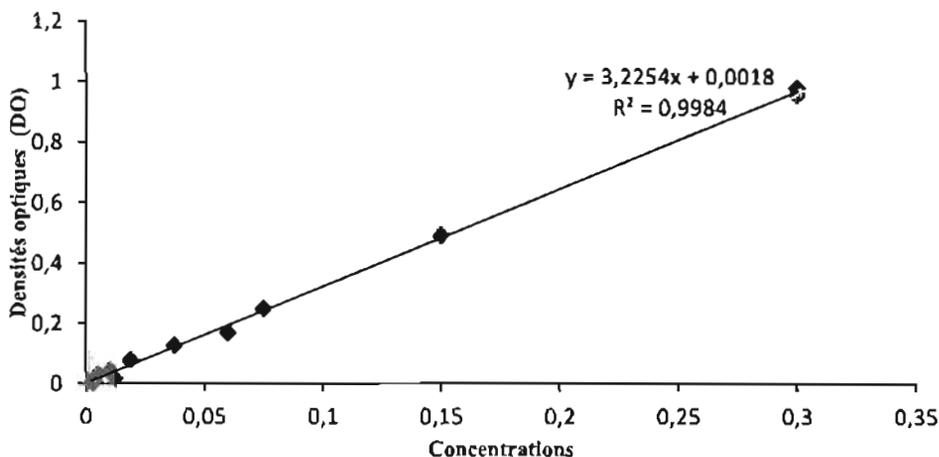


Figure 6: Courbe étalonnage

Expression des résultats

$$\text{Taux de sucres totaux (\%)} = \frac{\text{Psu}}{\text{PE}} * 100$$

PE : Prise d'essai (1g)

Psu : poids des sucres en g déterminé après dosage

II.2.4.1.3. Détermination du taux de protéines totales

Les protéines ont été dosées par la méthode de KJELDAHL (AFSCA, 2012). L'action Oxydante de l'acide sulfurique concentré bouillant transforme l'azote organique en azote minéral sous forme de sulfate d'ammonium $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$. Après déplacement par la soude, l'ammoniac est distillé et recueilli dans une solution d'acide borique qui le piège. Cette solution colorée est ensuite titrée par acidimétrie.

Une quantité d'échantillon a été introduits dans un matras ainsi qu'un comprimé de digestion (comprimé de catalyseur de Kjeldahl : 5g de sulfate de potassium K_2SO_4 et 0,5g de sulfate de cuivre CuSO_4) et 12,5 millilitres d'acide sulfurique H_2SO_4 pur concentré. Le mélange a été soumis à une minéralisation pendant 4 heures à 350 °c puis le volume du minéralisât complété après refroidissement à 60 ml avec de l'eau distillée. Une solution de soude (50 ml) a été ajouté au minéralisât en présence de phénolphtaléine jusqu'à l'obtention d'une coloration rose. Cette solution a été distillée et le distillat a été piégé dans 30 ml d'acide borique contenu dans un erlenmeyer de 250 ml. La distillation a été arrêtée lorsqu'il y a eu un signal sonore. Le distillat fut alors titré par l'acide sulfurique 0,5N. La fin de la réaction est marquée par le virage de couleur de l'indicateur coloré (bleu →jaune).

Un blanc a été réalisé selon la même procédure mais sans l'échantillon.

Expression des résultats

$$\text{Taux de protéines totales (\%)} = \frac{\text{VE} - \text{VB}}{\text{PE}} * \text{T} * 0,014 * 100 * 6,25 \quad \text{AFSCA(2012)}$$

PE : Prise d'essai

VE : Volume d'acide sulfurique nécessaire pour titrer l'échantillon

VB : Volume d'acide sulfurique nécessaire pour titrer le blanc

T : Titre de l'acide sulfurique (0,5N)

6,25 : Facteur de conversion

II.2.4.1.4. Détermination du taux de cendres

La teneur en cendres (sels minéraux) a été estimée par incinération au four à 520 °c de façon à obtenir la totalité des cations sous forme de carbonate et autres sels minéraux anhydres (AOCS, 1990).

2grammes de l'échantillon ont été introduits dans un creuset en porcelaine préalablement taré. L'ensemble est placé dans un four à mufle à 520 °C pendant 3 heures. Après refroidissement au dessiccateur pendant 30 minutes, on pèse à nouveau (PF).

La teneur en cendres est donnée par la formule suivante :

$$\text{Taux de cendre (\%)} = \frac{\text{PF} - \text{PO}}{\text{PE}} * 100$$

PE : Prise d'essai (2g)

PO : Poids du creuset à vide

PF : Poids total en fin d'incinération

II.2.4.1.5. Détermination du taux d'humidité

Le taux d'humidité est déterminé par dessiccation à l'étuve à 105 °c après séchage préalable de l'échantillon au four selon la méthode American Oil Chemist's Society (AOCS, 1990)

0,563 grammes de l'échantillon ont été introduits dans un creuset en aluminium préalablement pesé. L'ensemble a été placé à l'étuve à 105 °c jusqu'à l'obtention d'un poids constant.

La teneur en eau a été déterminée par la formule suivante :

$$\text{Taux d'humidité (\%)} = \frac{\text{PE} - (\text{PF} - \text{PO})}{\text{PE}} * 100$$

PE : Prise d'essai (0,563g)

PO : Poids du creuset à vide

PF : Poids du creuset contenant l'échantillon sec

Tableau VI: Méthode de détermination de la valeur nutritionnelle de la spiruline

Constituants	Méthodes adoptées	Références
Matière sèche	Séchage au four solaire	
Lipides	Extraction au soxhlet. Evaporation du solvant et récupération des lipides.	Extracteur soxhlet Rotavapor R-200 à 60°C LVEEM, 2015
Protéines	méthode de KJELDAHL	AFSCA, 2012 Méthode de KJELDAHL
Glucides	méthode de dosage enzymatique à l'amylase	Megazyme AACC method 32.32, 2018
Cendres	incinération au four à 520 °c	AOCS, 1990.

II.3. Traitement et analyse des données

Les données ont été saisies sur des feuilles EXCEL. Celles-ci concernent les pH, température et les poids de la biomasse récoltée. Pour faciliter leur interprétation, elles ont été présentées sous forme graphiques avec le logiciel Excel 2010.

Le logiciel XLSTAT a été utilisé pour vérifier la différence de significativité de la production de la spiruline entre la saison humide et la saison sèche par le test non paramétrique de WILCOXON.

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

III.1. Paramètres physico-chimiques du milieu de culture et rendement

Le tableau VII montre les paramètres physico-chimiques ainsi que le rendement de spiruline obtenus par mois.

Tableau VII: Paramètres physico-chimiques et rendement

Mois	pH		Température (°c)		Poids (g)	
	7h30	16h30	7h30	16h30	Humide	sec
Aout	9,04	8,98	23,57	26,57	5649	1007
Septembre	9,49±0,31	9,54±0,39	24,81±0,87	29,94±2,38	14121±5990,60	2598±1125
Octobre	9,34±0,10	9,55±0,007	24,36±0,31	27,76±1,54	20116±4239,10	3857±890,24
Novembre	10,63±0,91	10,61±0,74	21,4±2,09	26,44±0,93	16450±2592,25	3100±535,27
Décembre	11,45±0,57	11,68±0,75	18,83±1,81	23,57±2,02	15400±742,46	3080±14,14

Pendant la saison humide (aout-octobre) les pH moyens ont variés de 9,04 à 9,49 ± 0,14 les matins et de 8,98 à 9,55 ± 0,27 les soirs et de 10,63 à 11,45 ± 0,24 les matins et de 10,61 à 11,68 ± 0,007 les soirs pendant la saison sèche (novembre à décembre) figure 7.

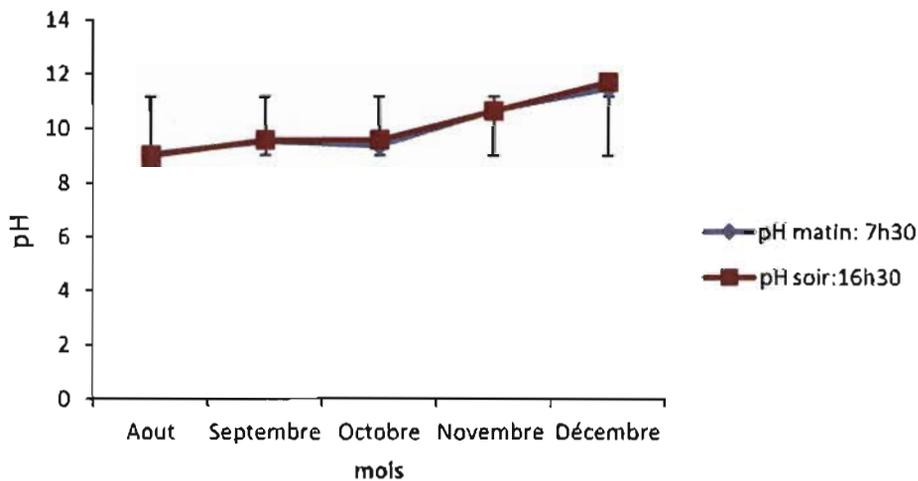


Figure 7: Evolution du pH au cours de la production

Pendant la saison humide (d'aout à octobre), les températures moyennes ont variées de 23,57 à 29,94°C ± 0,59 et de 18,83 à 26,44°C ± 0,77 pendant la saison sèche (novembre à décembre) figure 8.

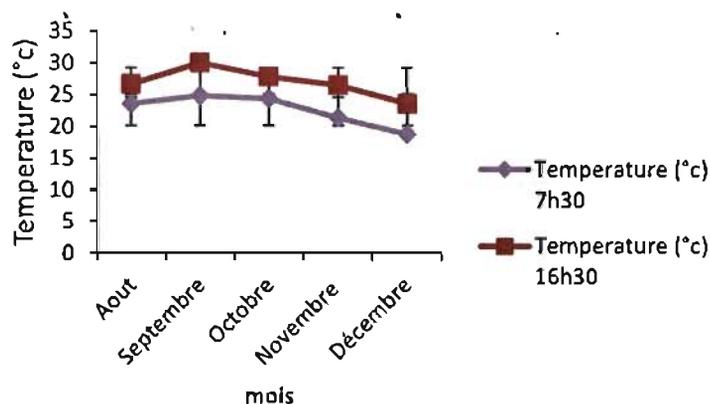


Figure 8: Courbe de températures moyennes pendant l'étude

Le pH du milieu, paramètre de croissance plus subtil car sujette à des variations le long de la journée, permet tout de même de savoir s'il y a croissance ou pas de la spiruline. Pour ce faire, cette mesure est prise au même moment de la matinée tout comme la concentration. Dans la journée, le pH croît car dans la photosynthèse le CO_2 est absorbé par la spiruline alors que dans la nuit, la respiration plus intense libère du CO_2 dans le milieu, abaissant par conséquent le pH (FOX, 1986). De même en consommant les carbonates ($\text{CO}_3 \text{H}^-$) et bicarbonates (CO_3) de son milieu, les spirulines tendent à augmenter encore l'alcalinité du liquide. Ainsi une augmentation du pH sous-entend une nutrition carbonée et par conséquent un accroissement de population de spiruline. Le pH varie avec la température (figures 7 et 8).

Au vu des résultats sur les courbes de températures moyennes enregistrées pendant l'étude et celles sur l'évolution du pH au cours de la production, pouvons dire que c'est pendant la saison humide que les conditions sont favorables à une bonne production de la spiruline. Les températures enregistrées au cours de cette période font varier les valeurs du pH autour de 8,98 à 9,55 (pH pour la bonne croissance de la spiruline) entraînant une nette augmentation des poids humide et sec de spiruline. Par contre celles enregistrées pendant la saison sèche font augmenter les valeurs de pH de 10,61 à 11,68 abaissant ainsi la production de la spiruline.

La température et le pH sont donc des paramètres qui influent sur la croissance et la production de la spiruline (SGUERA, 2008 ; JOURDAN, 2012).

III.2. Différentes espèces de spiruline et contaminations dans les bassins de culture

III.2.1. Les différentes espèces de spirulines

L'examen microscopique direct à l'objectif 40 entre lame et lamelle des échantillons de culture a révélé la coexistence de deux types de morphologies de spiruline : Une forme spiralée plus nombreuse avec des spires plus ou moins serrées (*Arthrospira platensis* de forme spiralée photo12-A) et une forme ondulée qui présente des spirales étirées (*Arthrospira platensis* de forme ondulée photo12-B). La prédominance d'une forme par rapport à l'autre est surtout fonction de l'agitation du bassin. Un bassin bien agité régulièrement va favoriser une spiruline spiralée et par conséquent un bon rendement de filtration (JOURDAN, 2012).

Les photos 11 et 12 ci-dessous présentent une vue générale au microscope d'*Arthrospira platensis* ainsi que ses deux formes rencontrées.



Photo 11: Vue générale au microscope d'*Arthrospira platensis*

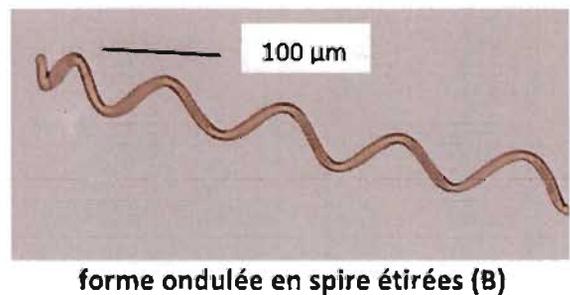
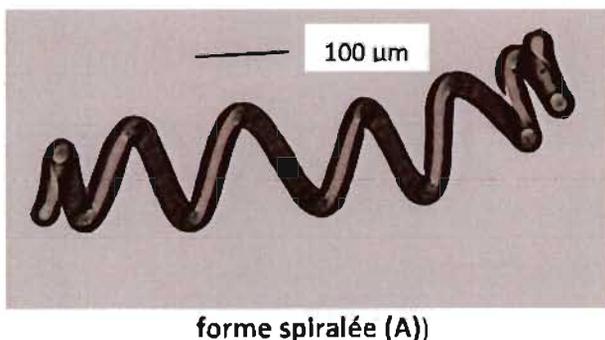


Photo 12: Morphologie d'*Arthrospira platensis*

Source: BOUNGUEMBE (2018)

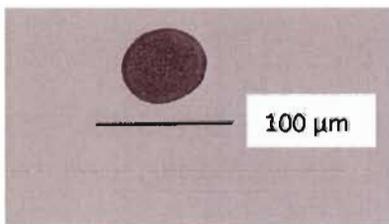
III.2.2. Contaminations dans les bassins de culture

Avant l'examen microscopique direct d'un échantillon de culture de spiruline, une analyse visuelle a permis d'apprécier l'état général de contamination. Il en ressort que le milieu de culture, en dehors de la couche verdâtre de spirulines, contient les larves d'insectes et des feuilles mortes de moringa (photo13). Tous ces contaminants sont heureusement éliminés quotidiennement à l'aide des tamis de 130 μ de mailles lors du filtrage de la spiruline

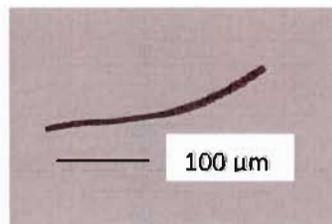
Par ailleurs l'examen microscopique a révélé la présence des *chlorella sp.* et *phormidium sp.* comme autres formes de contaminations dites algues étrangères dans le bassin exploité. Celles-ci sont des algues vertes photosynthétiques non toxiques (photos14 A & B)



Photo 13: Larves d'insectes et feuilles de moringa dans un tamis
Source: BOUNGUEMBE (2018)



Chlorella sp. (A)



Phormidium sp. (B)

Photo 14: Contaminations

Source: BOUNGUEMBE (2018)

III.3. Etat de la production de la biomasse

La quantité de matières sèches de spiruline réellement récolté au cours du stage et cela sur la période d'août à décembre est de 13642 g (récolté 7 jours dans le mois), a permis de déterminer la productivité effective de cette période, qui est de 390 g / jour. Cette valeur ramenée à la superficie du bassin exploité nous donne 12,18 g / jour / m².

Cette valeur de 12,18g/jour/m² de productivité est largement supérieure aux limites énoncées par FALQUET en 2000 pour une culture en milieu contrôlé avec les intrants bien appropriés, qui donne une productivité comprise entre 5 et 10 grammes de spiruline (poids sec) par jour et par mètre carré et 8g/j/m² selon JOURDAN (2012).

Ainsi on peut dire que l'augmentation de la productivité est due au fait que les récoltes ne sont pas effectuées quotidiennement mais plutôt par moments au cours du mois (récolté tous les 2 ou 3 jours dans la semaine) donnant à la spiruline le temps d'accroître pour une meilleure quantité de la biomasse.

La figure 9 donne l'histogramme de poids total sec de la spiruline produite par mois au cours de l'étude.

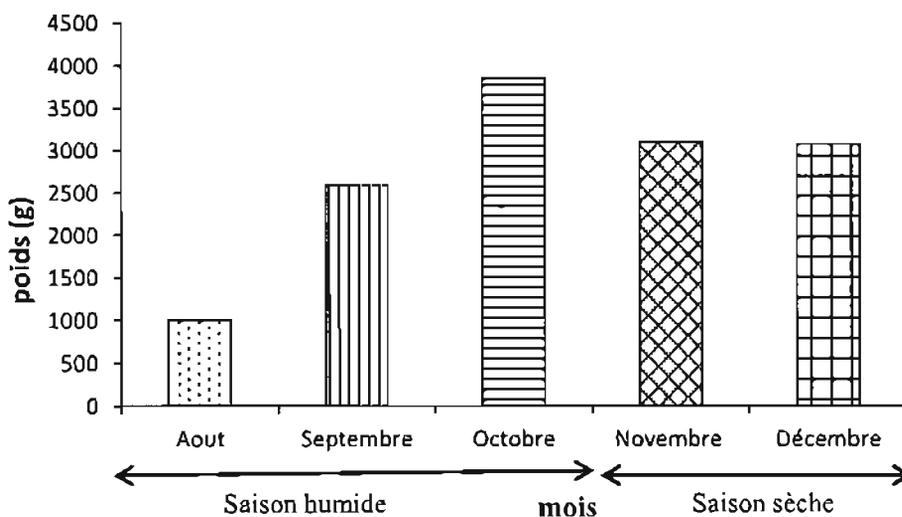


Figure 9: Poids total sec de la spiruline produit par mois

Pendant la saison humide (août - octobre), la production de la spiruline a augmentée et le pic a été en octobre. En saison sèche (novembre - décembre), elle a diminuée, sinon stagnée.

L'augmentation de la production peut se justifier par les bonnes conditions climatiques, donc un bon ensoleillement ($23,57 < T^{\circ} < 29,94$), une bonne agitation du bassin et la présence permanente d'intrants. Par contre, sa diminution pendant la saison sèche pourrait s'expliquer par des températures qui ne permettent pas une croissance optimale de la spiruline ($18,83 < T^{\circ} < 26,44$) et par une panne du système d'agitation et une pénurie en intrant enregistrés au niveau de ferme, notamment le bicarbonate de sodium indispensable pour la culture.

Cette productivité est suffisante pour alimenter les enfants inscrits au centre de l'ADTB car une telle productivité ramenée aux doses quotidiennes utilisées en alimentation humaine ; à peine quelques grammes de spiruline suffisent à améliorer radicalement l'apport nutritionnel quotidien de ces enfants en bas âges ($5g/j = 1$ cuillère à café). Mais l'augmentation de celle-ci serait souhaitable pour l'approvisionnement de la ville de Bobo-Dioulasso et les localités environnantes.

SGUERA (2008) notait que Le meilleur rendement cellulaire de spiruline est obtenu pour une intensité lumineuse comprise entre 20 et 30 Klux et que la température optimum de croissance pour la spiruline est $37^{\circ}C$, en dessous de $20^{\circ}C$ la croissance est ralentie sinon stoppée. Ainsi, on peut dire que la faible production enregistrée pendant la saison sèche pourrait s'expliquer non seulement par une insuffisance d'intrants et le manque du système d'agitation mais aussi par une baisse de température qui ralentie la croissance de la spiruline.

Par ailleurs, la comparaison de la production moyenne de la spiruline entre la saison humide et la saison sèche par le test non paramétrique de WILCOXON, a montré qu'il n'y a pas de différence significative de rendement entre les deux saisons ($p = 0,8$) au seuil de 5%.

III.4. Valeur énergétique de la spiruline

III.4.1. Composition nutritionnelle de la spiruline

La composition des analyses physico-chimiques de la spiruline à l'état séché puis broyée est représentée dans le tableau VIII ci-dessous.

Tableau VIII: Composition nutritionnelle de la spiruline

Echantillon	
Analyses	Spiruline sèche
Protéines totales (%)	64,95± 1,3
Sucres totaux (%)	16,24 ±0,14
Matières grasses (%)	5,42 ± 0,69
Cendre (%)	13,39 ± 0,2
Valeur énergétique (kcal/g)	3,79 ± 0,58

La spiruline cultivée à la ferme de l'ADTB possède les principales caractéristiques nutritionnelles comme indiquer dans les revues scientifiques. Elle est à la fois un aliment énergétique grâce à sa teneur en glucides (16,24%) et en matière grasses (5,42%), mais constructeur grâce à sa teneur en protéines (64,95%) et protecteur car riche en vitamines, oligo-éléments, sels minéraux et pigments (13,39% de cendres). Son énergie calorifique est de 379Kca/100g soit 3,79 Kcal/g).

A l'instar des autres sources d'énergies, elle est comparable pour 100g, à la graine de soja, graine sèche (403Kcal), au sucre raffiné (385Kcal), à la patte aux œufs (376Kcal). Elle dépasse largement les pommes douces (58Kcal), le lait de vache (64Kcal), le lait maternelle (70Kcal), les bananes fraîches (85Kcal), la viande de bœuf séchée salée (203Kca). Toutefois, sa valeur énergétique est faible par rapport à celle du lait entier en poudre (502Kcal), du chocolat noir sucré (528kcal), de l'huile de coco (878Kcal) (RAZAFINDRAJONA *et al.*, 2006)

RAZAFINDRAJONA et al, (2006) en étudiant la valeur nutritionnelle de la spiruline de Madagascar (*spirulina platensis* var. *Toliara*) ont démontré que cette variété possédait : 7,22% de lipide, 59,3 de protéines, 14 à 24 % de glucides et une énergie calorifique de 387Kca/100g soit 3,87 Kcal/g.

DANSOU (2002) en menant une étude sur le Développement et la valorisation de la culture de la spiruline (*Spirulina platensis*) au Burkina Faso à montrer que cette espèce avait une composition de 6% de lipides ; 57,10% de protéines ; 12,77% de glucides et une énergie calorifique de 3,38Kcal/g

La composition de la spiruline étant sujette à des variations en fonction des conditions de culture et des techniques de production, certains écarts observés au niveau de nos résultats

comparativement aux études de RAZAFINDRAJONA et al, (2006), DANSOU (2002) et à certaines revues scientifiques pourraient s'expliquer par ce fait.

La spiruline est donc un aliment concentré riche en nutriments. Elle peut constituer un complément alimentaire par excellence tout en étant un aliment de base. Néanmoins, son utilisation nécessite beaucoup de prudence car une forte administration, en l'occurrence un surdosage, peut entraîner une intoxication (JOURDAN, 2012)

Par ailleurs sa teneur exceptionnelle en protéines et la composition de celle-ci la rendent nettement plus nourrissante que les principales matières premières pour la fabrication des aliments et les provendes telles que : le maïs, le riz, le manioc, le soja ou la farine de poisson. Elle pourra donc être utilisée, d'une part comme un aliment d'appoint de la ration humaine et d'autre part un substitut par excellence et/ou un élément améliorateur des aliments et provendes.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

La Présente étude a permis de montrer que:

- L'algoculture est une activité très délicate. Elle nécessite beaucoup de précautions dont entre autres : sa réalisation dans une enceinte bien protégée, un suivi rigoureux des différents facteurs pouvant influencés le développement de l'algue cultivée, la manipulation du milieu avec des comportements hygiéniques très stricts ;
- La spiruline produite à la ferme de l'ADTB est le genre *Arthrospira platensis* présentant deux formes: spiralée et ondulée ;
- Les chlorella sp, phormium sp et larves d'insectes représentent les formes de contaminations identifiées dans le bassin de culture. Celles-ci ne sont pas nocives à la consommation de l'algue cultivée ;
- La spiruline produite est riche en nutriments (65,95% Protéines, 16,24% Glucides et 5,42% Lipides). Cette spiruline peut donc constituer un complément alimentaire par excellence tout en étant un aliment de base.

Pour permettre et optimiser l'accroissement de la productivité des bassins de spiruline d'une part, et pour garantir la qualité de la spiruline produite d'autre part, recommandons ce qui suit :

- **Aux responsables de l'ADTB de:**
 - ✓ Renforcer la capacité matérielle et humaine de la ferme afin d'assurer une production continue et soutenue de la spiruline;
 - ✓ Protéger l'enceinte des bassins de culture par des toiles moustiquaires afin de limiter la pénétration de certains contaminants;
 - ✓ contrôler de façon permanente la culture ou nouer un partenariat avec les laboratoires de l'UNB pour des analyses biochimiques afin de déceler la présence de contaminants, et de s'assurer de la qualité de la spiruline produite.
- **Aux travailleurs de la ferme de:**
 - ✓ Respecter les règles d'hygiène par le port des équipements appropriés à la culture et la production de la spiruline (blouses, gants, protège nez etc.) ;
 - ✓ Garder le matériel de récolte parfaitement propre.

Ces travaux gagneraient à être poursuivis pour une meilleure valorisation de cet aliment renfermant plus de 50% de protéines. En effet il serait intéressant de mener des recherches en ichtyologie ou en élevage sur l'apport nutritionnel des aliments complétés par la spiruline.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

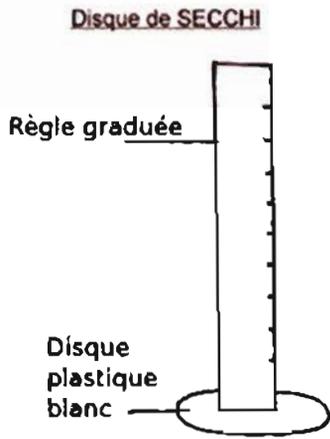
- **Anonyme, 1997.** Éléments du tableau de la valeur nutritive : Energie. Agence Canadienne d'Inspection des Aliments, <http://www.inspection.gc.ca/aliments/etiquetage/l-etiquetage-des-aliments-pour-l-industrie/etiquetage-nutritionnel/elements-du-tableau-de-la-valeur-nutritive/fra/1389206763218/1389206811747>. Consulté le 5/12/2017 à 18h 27mn.
- **Anonyme, 2003.** Enquête démographique et de santé au Burina Faso : Institut National de la Statistique et de la Démographie, 471p. <https://www.dhsprogram.com/pubs/pdf/FR154/FR154.pdf> consulté le 18/11/18/ à 10h
- **Anonyme, 2006.** Les fermes de spiruline au Burina Faso : Le monde, l'Afrique mise sur l'algue verte pour mieux se nourrir - 6 mars 2006 5p. <http://www.spirulineburkina.org/> consulté le 18/11/18 à 11h
- **Anonyme, 2012.** Détermination de la teneur en protéines brutes. Agence Fédérale pour la Sécurité de la Chaîne Alimentaire, 8p. http://www.favv-afsca.fgov.be/laboratoria/methoden/favv/_documents/METLFSAL003Proteinebrutev10.pdf. Consulté le 7/02/2018 à 18h 42mn
- **Anonyme, 2015.** Extraction SOXHLET. Exemples Industriels : Analyse du "taux de gras" dans les tissus, extraction des traces d'huile silicone sur du polycarbonate, IUT-Département Chimie. Laboratoire vellave sur l'élaboration et l'étude des matériaux (LVEEM), 8 rue Jean-Baptiste Fabre. <http://veem.iut-lepuy.fr/index.php/15-analyses-prestations-de-services/analyses-thermiques/15-extraction-soxhlet>. Consulté le 13/11/17 à 11h 15mn.
- **Anonyme, 2015.** Rapport de présentation de la ferme de spiruline, Association du Dispensaire Trottoir de Bobo Dioulasso, 21p.
- **Bahiré F. X. W., 2016.** Étude diachronique des changements du couvert végétal dans les écosystèmes forestiers par télédétection spatiale et par suivi au sol : « Cas de la forêt classée de Dindéresso » Burkina Faso. Mémoire d'inspecteur des eaux et forêts, ENEF/Dindéresso, Bobo-Dioulasso, 59p.
- **Briand JF., Robillot C., Quiblier Lloberas C., Bernard C., 2002.** A perennial bloom of *Planktothrix agardhii* (Cyanobacteria) in a shallow eutrophic French lake: limnological and microcystin production studies. Archiv Fur Hydrobiologie 153: 605-622.

- **Charpy Loïc, Marie José Langlade et Romain Alliod, 2008.** « La Spiruline peut-elle être un atout pour la santé et le développement en Afrique ? », IRD UR 167 (CYROCO) COM, rue de la Batterie des Lions 13007 Marseille, 49p.
- **Chomérat N., Fayolles S., Cazaubon A., 2006.** Toxicité non exprimée par la cyanobactérie potentiellement toxique *Planktothrix agardhii* rencontrée dans un étang saumâtre méditerranéen : prise en compte du risque dans le choix des espèces cultivées à des fins nutritives. In Charpy et al. (ed.) International Symposium on Cyanobacteria for Health, Science and Development: 25-26.
- **Dansou Delali Kokou, 2002.** Développement et valorisation de la culture de la spiruline (*Spirulina platensis*) au Burkina Faso. Mémoire de Diplôme d'Etudes Supérieures Spécialisées (DESS), Université de Ouagadougou ; 74 p.
- **Escarfail Loïc, 2017.** Etat de l'art sur la production et les marchés de la spiruline (*Arthrospira platensis*), 74p.
- **Falquet J., 2000.** Une réponse durable à la malnutrition : la production locale de spiruline. Antenna Techn., Genève, n°3, 12 p.
- **Falquet J., Hurni J.P., 2006.** Spiruline Aspects Nutritionnels, Antenna Technologies, 41p.
- **FAO, 2016.** La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture, 211 p.
- **Fox R.D., 1986.** Algoculture : la spiruline, un espoir pour le monde de la faim. Edisud, Aix-en-Provence, ISBN 2-85744-262-9, 319 p.
- **Guinko S., 1984.** Végétation de la Haute-Volta. Thèse de doctorat ès-sciences naturelles, université Bordeaux III, Bordeaux, France. 318p.
- **Jessica Banks, 2007.** Etude Spiruline au Palacret, 20p.
<https://www.google.bf/search?ei=-nodW4-aDMj-UljUhQg&q=ETUDE+SPIRULINE+AU+PALACRET%3A+Jessica+Banks+janvier%2Ffévrier+2007&oq=ETUDE+SPIRULINE+AU+PA> consulté le 10/09/2018 à 19h 54mn.
- **Jochimsen EM., Carmichael WW., An J., Cardo D., Cookson ST., Holmes CEM, Antunes MBC., Melo Filho DA., Lyra TM., Barreto V., Azevedo SMFO, Jarvis WR., 1998.** Liver failure and death following exposure to microcystin toxins at a hemodialysis center in Brazil. The New England Journal of Medicine 36: 373-378.
- **Jourdan J.P., 2012.** Manuel de culture artisanale de spiruline : cultivez votre spiruline, 223p.

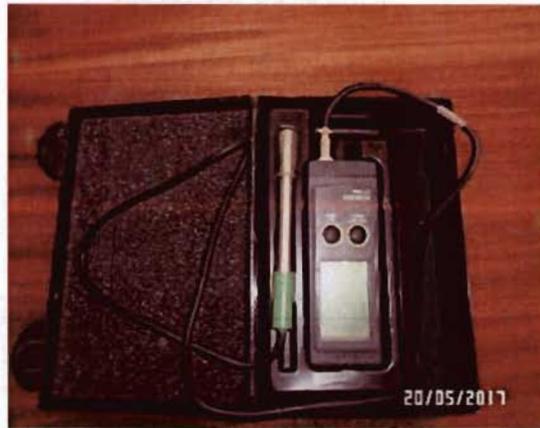
<https://www.google.bf/search?q=MANUEL+DE+CULTURE+ARTISANALE+DE+SPIRULINE&oq>. Pdf. Consulté le 15/2/ 218 à 11h 15mn.

- **Kabore 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.
- **Razafindrajaona J.M., Rakotozandriny J.N., Rakotodrainy R., Randria J.N, Ramampihrika K.D., 2006** .Etude de la valeur nutritionnelle de la spiruline de Madagascar (*spirulina platensis* var. Toliara). Terre Malgache. Tany Malagasy, volume 25:166-188.
- **Salomone M., 2013.** Guide du formateur, Technap : Technologies appropriées pour le développement et la santé 14p. <https://www.technap-spiruline.fr/index.php>. Consulté le 13/12/17
- **Santillan C., 1974.** Cultivation of the Spirulina for Human Consumption and for Animal Feed International Congress of Food Science and Technology, Madrid (Spain). http://www.la-boutique-bio.com/aspects_nutritionnels_de_la_spiruline.pdf . consulté le 04/09/17 à 8h 20mn
- **Sawadogo M., Nikiema J. B. et Compaore M., 2004.** La spiruline nayaigue, projet de production intégrée au Burkina Faso, Pharm. Méd. Trad Afr. 2004. 13 : 117-132.
- **Sguera Sébastien, 2008.** *Spirulina platensis* et ses constituants : intérêts nutritionnels et activités thérapeutiques. Thèse de Diplôme d'Etat de Docteur en Pharmacie, UNIVERSITE HENRI POINCARÉ - NANCY 1, 163p.
- **Simpore J., Zongo F., Kabore F., Dansou D., Bere A., Nikiema JB., Pignatelli S., Biondi D., Ruberto G. et Musumeci S., 2005.** Nutrition Rehabilitation of HIV Infected and HIV-Negative Undernourished Children Utilizing Spirulina. Ann Nutr Metab 49:373–380.
- **Zongo F. et Zongo B., 2008.** colloque international sur la spiruline «développement, formation et transfert technologique, en matière de culture de la spiruline»: La monoculture algale, une activité délicate. Cas de la Spiruline. Mémoires de l'institut océanographique Paul Ricard, 184p.

Annexe 3: Matériel de mesure des paramètres physico chimiques

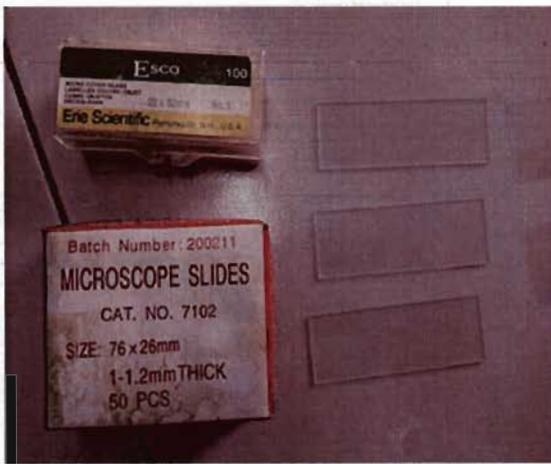


Disque de Secchi (A)



pH-mètre HANNA (B)

Annexe 4: Matériel d'identification de la spiruline et des contaminants



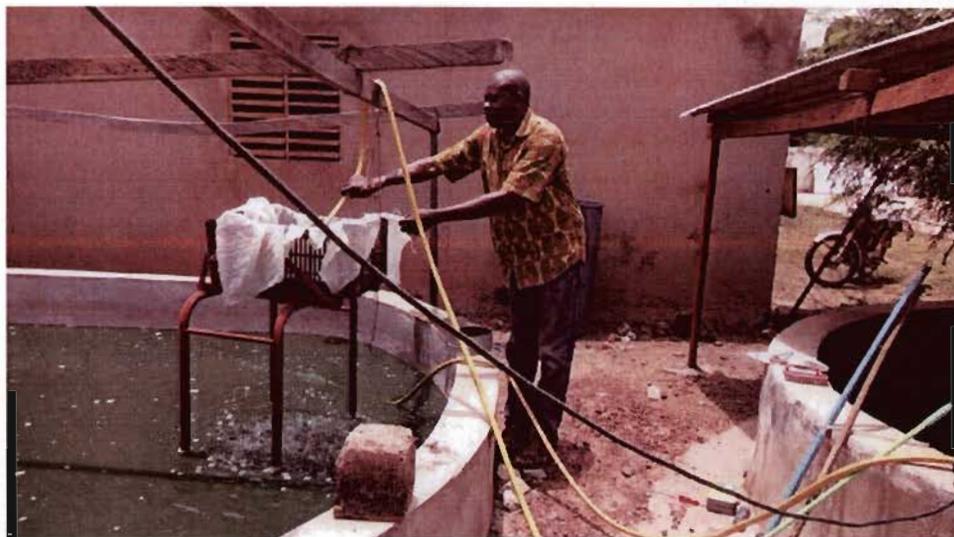
Lames (A)



Microscope oculaire (B)

Source: BOUNGUEMBE (2018)

Annexe 5: Purge d'un bassin de culture



Source: BOUNGUEMBE (2018)