

Essai de la culture de spiruline biologique *Arthrospira platensis* à la ferme Masoandro d'Ambovovy dans la commune urbaine de Mahajanga Madagascar

Test of the culture of spiruline biologic *Arthrospira platensis* in the firm Masoandro of Ambovovy in the urban township of Mahajanga Madagascar

Benjamin Christian RAMILAVONJY RAMIANDRISOA¹, Herimampihonona Patrick RAZAKAMANITRA¹, Rivoharina RASOANARIVO², Hery Lisy Tiana RANARIJAONA²

¹ Institut Universitaire de Technologie et d'Agronomie de Mahajanga (IUTAM), Université de Mahajanga (UMG) benjaiba@yahoo.fr, yasymanana@gmail.com

² Faculté des Sciences de Technologies et de l'Environnement (FSTE), Université de Mahajanga (UMG) harivo13@yahoo.fr hranarijaona@gmail.com

RÉSUMÉ. La conception de la culture biologique de la spiruline de l'espèce *Arthrospira platensis* se base sur l'étude et l'emploi d'intrants véritablement. L'objectif de cette étude est de relever le sujet utopiste sur la spiruline biologique, en utilisant d'une part l'apport d'intrants majoritairement organiques, une agriculture éthique responsable des normes environnementales rigoureuses et d'autre part une approche systémique et éthique en algo-écologique positive. Pour la méthodologie de l'expérimentation, deux bassins de 4m³ de chaque ont été utilisés dont l'un pour la culture conventionnelle en utilisant les intrants chimiques et l'autre pour la culture de spiruline biologique en utilisant le purin de ricin de plante et l'infusion de la peau de bananes. D'après les résultats, 688 g et 348 g ont été récoltés respectivement pour la culture conventionnelle et la culture biologique de la spiruline lors d'une première récolte. Lors d'une observation microscopique, la culture conventionnelle a une croissance rapide qui présente une spiruline de structure serrée. Tandis que celle de biologique est lente avec une structure décalée. Les paramètres physico-chimiques ne diffèrent pas significativement. En comparant les deux milieux, la culture conventionnelle est plus riche en intrants que la culture biologique en observant le manque de carbone, une source nutritive pour le développement de la spiruline. Bref, la culture de spiruline biologique est une meilleure source alimentaire complète d'antioxydants, riche en protéine d'origine végétale. Il fournit un bénéfice médical incluant la prévention et le traitement des maladies. Elle participe aussi à la séquestration du carbone atmosphérique et une source de devise.

ABSTRACT. The conception of the biologic culture of the spirulina of the species *Arthrospira platensis* is based truly on the survey and the use of inputs. The objective of this survey is to raise the topic utopian on the biologic spirulina, while using a contribution of inputs organic majority on the one hand an ethical agriculture responsible for the rigorous environmental norms and on the other hand a systemic and ethical approach in algo-ecological positive. For the methodology of the experimentation, two basins of 4m³ of every have been used of which one for the conventional culture while using the chemical inputs and the other for the biologic spirulina culture while using the manure of plant castor oil plant and the brewing of the banana skin. According to the results, 688 g and 348 g have been harvested respectively for the conventional culture and the biologic culture of the spirulina at the time of a first harvest. At the time of a microscopic observation, the conventional culture has a fast growth that presents a tight structure spirulina. While the one of biologic is slow with a baffled structure. The physico-chemical parameters different not meaningfully. While comparing the two surroundings, the conventional culture is richer in inputs that the biologic culture while observing the lack of carbon, a nourishing source for the development of the spirulina. In short, the biologic spirulina culture is a better complete food source of antioxidants, rich in plant origin protein. He/it provides a medical profit including the prevention and the treatment of the illnesses. She/it also participates in the sequestration of the atmospheric carbon and a source of motto.

MOTS-CLÉS. Culture biologique, aliment, séquestration, carbone, devise, Mahajanga Madagascar.

KEYWORDS. Biologic culture, food, sequestration, carbon, motto, Mahajanga Madagascar.

1. Introduction

La spiruline est un organisme bleu vert microscopique pluricellulaire, filamenteux, mobile, enroulé en spirale d'environ 0,25mm ou 250µm de longueur pour un diamètre de 0,01mm et de 3µg de masse. Elle fut redécouverte à l'époque moderne dans des lacs alcalins très salés. Elle se multiplie par division cellulaire. Le temps entre deux divisions ou temps de génération est de l'ordre de 7 heures. Cette algue a une vitesse de croissance très supérieure à celle des autres végétaux supérieurs [JAR 05].

Selon [VON 97], les 70% de la production mondiale de la spiruline ont été utilisés dans l'alimentation humaine. Et d'après [FOX 99], il n'y a pas de meilleure nourriture que de la spiruline pour améliorer l'alimentation. C'est un aliment de choix ayant environ 10% d'azote dans sa matière sèche, soit près de 63% de protéines comprenant 8 acides aminés essentiels et 10 non essentiels. La spiruline est un aliment complémentaire riche en éléments nutritifs. Elle contient 20% de glucides à assimilation lente et 10% de lipides dont la moitié d'acide gras. Elle est une grande source d'acides gras essentiel, omega 3 et omega 6 et gamma-linolénique. L'acide gamma-linolénique constitue 10% à 20% des acides gras [ROM 08]. Elle contient de carotène entre 10 à 30 fois plus que la carotte et de chlorophylle à peu près 1% [BER 14]. Elle est riche exceptionnellement en sels minéraux en oligo-éléments, en vitamines en acides aminés et en enzymes.

La spiruline est une source de nombreuses vitamines, en particuliers la provitamine A, la vitamine E et la Vitamine B₁₂ [ANT 80]. Cet aliment contient de l'enzyme, des sels minéraux comme le fer, le magnésium, et le calcium. Elle est constituée de nombreux éléments nécessaires au bon fonctionnement du système nerveux. L'assimilation de ses composants est généralement bien effectuée par l'organisme [ZAN 90].

Sur la base de sa composition en micronutriments, de son potentiel pour la santé et du fait qu'elle soit cultivable localement, la spiruline présente des avantages majeurs dans la lutte contre la malnutrition chronique. Ce fléau provient généralement de déséquilibre en apport énergétique, protéique et de micronutriments, entraînant des carences en acides aminés essentiels, acides gras essentiels et en vitamines. Dans les pays en voie du développement, la malnutrition entraîne chez les jeunes enfants de nombreuses conséquences néfastes : une augmentation du risque de mortalité, une diminution des défenses immunitaires, un retard du développement moteur, une diminution des capacités cognitives et d'apprentissage à l'école [LEC 17].

En Russie, la spiruline est autorisée comme aliment thérapeutique dans le traitement de maladies irradiées après la catastrophe de Tchernobyl [LOS 93]. En Inde [SES 93] et en Afrique [BUC 90], entre autre, des études ont prouvé l'efficacité surprenante de la spiruline dans le traitement de plusieurs centaines d'enfants gravement dénutris.

En considérant la population du globe, le tiers de l'humanité crève de faim pendant que les tiers restants crèvent de trop manger ou de mal manger. Paradoxalement, les problèmes alimentaires existent au Nord comme au Sud. Les tiers mondes sont affligés par la malnutrition tandis que les pays développés souffrent de la maladie de dégénérescence. [MIC 05].

Cependant, la malnutrition touche tous les pays en développement. Madagascar est particulièrement touchée par ce problème puisque plus de la moitié des enfants de moins de 5 ans, soit environ deux millions de personnes, souffrent de la malnutrition chronique [HER 03].

L'objectif de cette étude est de relever le sujet utopiste sur la spiruline biologique, en utilisant d'une part, un apport d'intrants majoritairement organiques dans une agriculture éthique responsable des normes environnementales rigoureuses et d'autre part une approche systémique et éthique en agro-écologique positive. Deux hypothèses ont été avancées : d'une part la culture de spiruline biologique est faisable à *Mahajanga* et d'autre part les intrants biologiques utilisés sont disponibles localement à *Mahajanga*.

La présente étude va mettre en évidence la méthodologie adoptée, détailler les résultats obtenus, suivis d'une discussion et d'une conclusion et perspectives.

2. Méthodologie

2.1. Présentation de la spiruline

2.1.1. Généralités sur la spiruline

La plus connue des cyanobactéries est sans doute la spiruline *Arthrospira platensis*, anciennement *Spirulina platensis*, qui se présente sous la forme d'une petite spirale de 7 tours (cf. figure 1) [RAM 06]. Selon [VON 97], 70% de la production mondiale de la spiruline sont utilisés dans l'alimentation humaine. Et d'après [FOX 99], il n'y a pas de meilleure nourriture que de la spiruline pour améliorer l'alimentation. C'est un aliment de choix car elle contient environ 10% d'azote dans sa matière sèche, soit près de 63% de protéines comprenant 8 acides aminés essentiels et 10 non essentiels. C'est aussi une source de nombreuses vitamines, en particulier la provitamine A, la vitamine E et la Vitamine B₁₂. La production de spiruline se fait à plusieurs échelles : artisanale, semi-industrielle et industrielle [LOI 08].

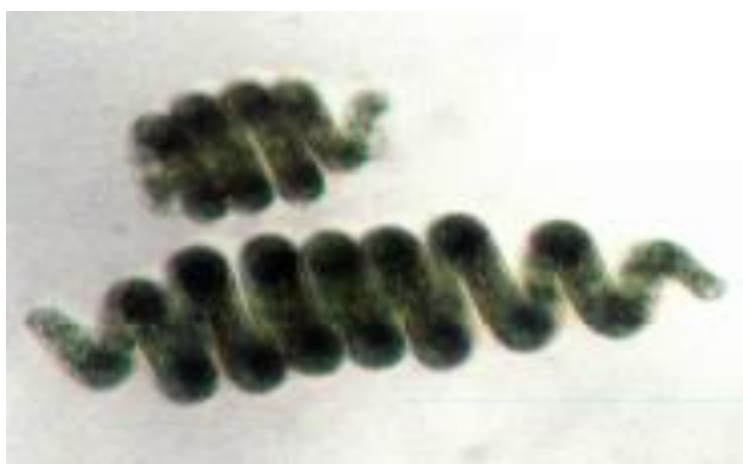


Figure 1. Filaments de spiruline vue au microscope (40x)

Le tableau 1 montre les bénéfices de la consommation de la spiruline pour la santé et l'alimentation :

Santé et nutrition	Bénéfices pour la santé et nutrition
Fibrome	Traitement avec phytothérapeutique à longue durée dans la spiruline
Anomalie de la miction	Traitement avec les acides gras insaturés dans la spiruline
Baisse de vision et maladies des yeux	Présence d'un caroténoïde unique, transformé par l'organisme en vitamine A ou en rétinol dans la spiruline
Diabète	Traitement de diabète grâce à la présence de vitamine B1, un effet indispensable pour la combustion complète du sucre
Douleur lombaire	Traitement de douleur grâce à la Présence de sa vitamine B, son bêta-carotène, sa chlorophylle et ses acides gras polyinsaturés
Drépanocytose	Traitement de Drépanocytose grâce à la présence en quantité importante de phénylalanine
Œdème	Traitement dû à la présence des acides gras insaturés et au zinc

Hépatite	Traitement avec son apport en micro-nutriments de haute valeur biologique : provitamine A pour réguler les fonctions du foie et chlorophylle pour l'action purifiante du foie
Fatigue	Traitement de fatigue grâce à la présence de vertus rééquilibrantes, énergisantes, tonifiantes et vitalisantes, effet anti-fatigue et effet anti-carences très importants : Bonne source en fer et en acides gras insaturés, un aliment défatiguant
Goitre	Traitement avec des acides gras insaturés grâce à un apport en oligoéléments et leur apport en iode dans les cas d'insuffisance n carbonate de magnésium et de calcium
Goutte	Alcaliniser le sang en éliminant les résidus acides du métabolisme (acide urique et autres). Très riche en phytonutriments
Insomnie	Favoriser un sommeil de qualité grâce à l'acide aminé tryptophane, un régulateur de la sérotonine; neurotransmetteur du système nerveux central
Manque d'appétit	Stimuler l'appétit grâce à ses apports importants en vitamines A et E, en plus des minéraux comme le fer et le tryptophane
Ulcères d'estomac	Traiter avec 2 grammes de la consommation de spiruline par jour : la chlorophylle pour le revêtement de la paroi de l'estomac et la régulatrice de l'acidité gastrique
Activité sportive	Excellent complément alimentaire : riche en protéines pour développer les muscles en régénérant leurs fibres. Aliment défatiguant et ego génique et sa consommation fait le plein d'énergie, augmente l'endurance et améliore la résistance.
Stress et leurs conséquences	Très efficace contre les troubles du stress. Bonne source des vitamines groupe B, de magnésium, de calcium et de certains acides aminés comme la tyrosine en régulant l'influx nerveux et en diminuant le stress
Problème de croissance des os	Grâce à la présence des protéines 70% : entretien et maintien de grandes fonctions organiques (croissance de notre organisme et plus particulièrement des os, des muscles, de la peau, des cheveux, des ongles et du sang)

Tableau 1. Bénéfices de la consommation de la spiruline pour la santé et l'alimentation [RAM 12]

2.1.2. Ecologie de la spiruline

A l'état naturel, la spiruline est retrouvée dans des lacs de la ceinture intertropicale du globe terrestre, dont les eaux sont riches en carbonate de sodium, bicarbonate de sodium, divers minéraux et une source d'azote fixe. Généralement, ces lacs sont situés entre la latitude 35° nord et 35° sud. En effet, elle a besoin de chaleur et de lumière pour réaliser la photosynthèse [RAK 11].

La spiruline se développe dans les régions tropicales. Elle vit donc dans des eaux chaudes, riches en carbonates. De nos jours, la spiruline se trouve à l'état sauvage à quelques rares endroits sur Terre. Ces

lieux ont certains points communs : il y fait chaud, l'eau est présente. Et pour de multiples raisons, cette eau présente des caractéristiques physico-chimiques propices au développement de spiruline sauvage, notamment de pH. Les paramètres essentiels fondamentaux qui contribuent à constituer le climat favorable à la spiruline sont la température, la pluviométrie et le pH du milieu.

2.1.3. Relation entre la spiruline biologique et sa culture

La culture de la spiruline s'inspire de son milieu naturel et sauvage que l'homme essaie de reproduire avec son climat naturel tropical sous serre, ses nourritures et ses conditions de vie. Naturellement, la culture de la spiruline dans les pays comme l'Inde, Pérou, Madagascar, le Tchad a été trouvée. Plusieurs industries dans l'agroalimentaire produisent de tonnes de spiruline chaque année.

La culture biologique constitue un sujet assez complexe à discuter car jusqu'à présent, nous n'avons pas trouvé des critères valables ainsi qu'une manière convaincante d'assurer une culture biologique. En Europe, les règles strictes à appliquer pour la culture de la spiruline biologique n'ont pas été mentionnées.

Selon Jean-Louis Vidalo, « il n'y a aucune possibilité légale de se prétendre spiruline biologique », actuellement en France et probablement encore pour longtemps pour des raisons complexes de rigidité administrative et de corporatisme bien français ». Elle n'est pas une utopie, mais faisable au point d'aller dans une volontaire autonomie totale. Comme en Afrique, quelques spiruliniers parviennent à faire une culture sans intrants chimiques en utilisant évidemment des purins végétaux, des engrais biologiques et bien d'autres intrants. Un mélange de savoir-faire et de technique peut emmener vers une autonomie volontaire et des productions de longue durée avec des connaissances acquises.

2.1.4. Classification de la spiruline

La souche de spiruline utilisée est *Arthrospira platensis* var. *toliaensis*. Elle appartient à la classification suivante :

Règne	: Monera
Sous règne	: Prokaryota
Phylum	: Cyanophyta
Classe	: Cyanophyceae
Ordre	: Nostocales
Famille	: Oscillatoriaceae
Genre	: <i>Arthrospira</i>
Espèce	: <i>Arthrospira platensis</i> variété <i>toliaensis</i> [FOX 95] ; [RAK 14]

2.2. Milieu d'étude

La ferme Masoandro est un producteur de spiruline biologique situé à « Grand Pavois », Mahajanga, Madagascar qui est le site d'étude pour la culture de la spiruline biologique à base de purins. Elle s'est spécialisée dans le domaine de production de la spiruline, micro algue spirulée bénéfique pour la santé humaine. Située à quelques dizaines kilomètres de la ville, elle se localise sur la plage de Grand Pavois. Elle fait partie de la fondation Eco Formation.

La ferme Masoandro est un producteur de spiruline, sise à Mahajanga, Madagascar. Située à quelques dizaines de kilomètres de la ville, elle se localise sur la plage dite de « Grand Pavois

Fondée en 2010, elle est une fondation de droit Suisse d'utilité public dans un but non lucratif. La fondation Ecoformation gère et développe des projets environnementaux dans des pays en voie de développement comme Madagascar, où elle a mis un vaste réseau de reboisement, d'agroforesterie et de rétablissement de la biodiversité. Leur stratégie est de mettre en compte une sensibilisation de la

population locale, une formation et un soutien technique et financier pour le bon développement du projet.

Connaissant bien la malnutrition qui dévaste déjà le sud de Madagascar, la ferme Masoandro a mis un projet de soutien afin de lutter contre la malnutrition en offrant 30% de spiruline pour aider des enfants malnutries en collaboration étroite avec Antenna Suisse et France. La ferme Masoandro possède environ un terrain de 11 000 m² dont, à ce jour, 14 bassins construits et 7 actifs. Dans ces 7 bassins actifs, 700 m² de spiruline cultivée ont été opérationnels, c'est-à-dire environ 100 m² par chaque bassin productif (cf. figure 2).

Dans cette étude, deux bassins expérimentaux ont été construits mesurant 250 cm de diamètre, une profondeur de 40 cm et un volume atteignant 4 m³ maximum. Couvert de serre aux alentours, une toile de cellophane pour atténuer la chaleur et des feuilles de satrana (*Bismarckia nobilis*) pour faire de l'ombrage et éviter de créer une photolyse.



Zone d'étude

Figure 2. Localisation de ferme Masoandro à Grand Pavois Mahajanga Madagascar

2.3. Espèces de plantes utilisées

Le ricin (*Ricin communis*) est une plante bien connue, vivace sous les latitudes tropicales dont elle est originaire. Il est cultivé en annuelle pour la beauté de son feuillage palmé prenant des teintes pourprées et pour ses capsules de fruits échevelées rouge vif. Cette plante produit des graines dont on extrait la fameuse huile

2.3.1. Classification de ricin

La classification de ricin (cf. figure 3) est comme suit [BER 13] :

Règne	: Plantae
Classe	: Magnolipsida
Ordre	: Euphorbiales
Famille	: Euphorbiaceae
Genre	: <i>Ricin</i>
Espèce	: <i>communis</i>
Nom vernaculaire	: Tanatanamangalahy



Figure 3. Espèce de *Ricin communis*

2.3.2. Caractéristique et utilité

Le tourteau de ricin, plante originaire de l'Amérique latine, de l'Afrique et des Indes, est une des flores utilisées en tant qu'engrais de fond biologique. Spécialement, il est utilisé pour cultiver des légumes, tabac, vigne, fleurs et arbres fruitiers. Son avantage se démontre par son pourcentage très élevé en azote (5 à 6%). Par contre, le taux de phosphate est de 2 à 3% et celle du potassium 1%. Cette espèce apparait comme une plante envahissante localisée en Australie tropicale, dans l'Océan Indien et en Océanie, précisément, dans la Nouvelle Calédonie. Cette plante est très utile évidemment comme engrais de fond dont l'action est progressive, soutenue et lente. Elle constitue aussi un amendement qui n'acidifie pas le sol ni les plantes. Elle est très assimilable.

2.3.3. Peau de banane

Vue comme un déchet jetable, la peau de banane possède des qualités exceptionnelles en tant qu'engrais biologique appropriée au lancement de cette expérience. Elle est riche en potassium et en phosphate, et de faible teneur en azote, autant d'éléments qui jouent un rôle pour le bon développement

de la spiruline. Pour en extraire l'élément voulu, la peau de banane se met dans une bouteille remplie d'eau. Ensuite, ce mélange est laissé pendant 2 à 3 jours. Le jus obtenu est utilisé pour l'expérience.

2.4. Extraction de purins et d'infusion

Le purin de plante est une préparation à base de plante faite pour soigner d'autres plantes. La feuille de cette plante est la partie la plus utilisée pour faire du purin grâce à la partie la plus mou et facile à macérer. Les autres parties sont rigides et difficiles à macérer. La durée de la préparation dépend des méthodes utilisées. Quatre méthodes ont été bien définies :

- Macération normale durant 3 à 5 jours
- Macération prolongée durant 10 à 15 jours
- Infusion
- Décoction

2.4.1. Macération normale

Il suffit de plonger les plantes dans l'eau et les laisser ainsi 3 à 5 jours au soleil puis les filtrer. Le liquide obtenu est teinté mais l'odeur est faible. Ce type de macération sert principalement d'insecticide et de fongicide.

2.4.2. Macération prolongée

Les plantes sont mises à tremper pendant 1 à 2 semaines et la technique est différente. Il s'agit d'une fermentation qui se fait à l'ombre. Tous les jours, il faut remuer le purin légèrement. Cette étape peut brasser et favoriser une décomposition aérobie. Des bulles remontent à la surface. À la fin, ces bulles disparaissent et deviennent invisibles. Ce qui signifie que le purin est prêt. La vitesse de macération dépend de la température extérieure : plus il fait chaud, plus la fermentation est rapide.

Le liquide obtenu est en général noirâtre et d'odeur forte. On peut atténuer cet inconvénient en ajoutant de la poudre de roche. C'est ce qu'on appelle plus communément le purin de plante. Il sert le plus souvent d'insecticide ou d'engrais selon la dilution.

2.4.3. Infusion ou tisane

Les plantes sont plongées dans l'eau bouillante. Après l'ébullition (quelques secondes), ce contenu est laissé à infuser pendant 24 h. Pour ce type de préparation, les plantes fragiles ou des fleurs sont utilisées. Ce produit servira donc d'engrais, de fongicide ou d'insecticide.

2.4.4. Décoction

C'est l'inverse de la tisane. Les plantes sont plongées dans l'eau froide pendant 24 h. Ensuite, ce contenu est laissé à bouillir pendant 15 à 20 mn. Et enfin, le couvercle est laissé ouvert jusqu'à ce que le mélange refroidisse. Ce procédé permet de casser les membranes lignifiées (durcies) ou riches en silice, les écorces, les tiges des plantes utilisées pour la décoction. Elle servira soit d'engrais, soit de fongicide ou d'insecticide.

2.5. Démarrage de culture

La ferme de culture de la spiruline Masoandro, à Amborovy, *Mahajanga*, dispose de deux bassins en bétons avec une eau de 2000 L, utilisant les intrants chimiques et biologiques. Cette société possède plusieurs bassins de spiruline dont 15 kg de spiruline égouttée et récoltée du bassin n°4 ont été transférés. Le kilo de spiruline est divisé en deux et partagés directement dans les deux bassins avec leurs nouveaux milieux. Deux colorations différentes ont été trouvées dont la couleur noire (cf. figure 4) à cause du ricin avec une forte odeur nauséabonde. Mais au fil du jour, l'odeur disparaît grâce à

l'agitation et l'air atmosphérique. Tandis que la couleur jaunâtre (cf. figure 5) due au sulfate de fer, au contact de l'eau, devient jaune.



Figure 4. Milieu de la culture biologique



Figure 5. Milieu de la culture conventionnelle

Pour avoir 2 L de fer, la composition est suivante :

- Purement biologique, un mélange de clou rouillé avec du jus de citron pur mis dans un bac spécial. Ce mélange est laissé quelques semaines.
- Pur chimiquement, une composition de 200g d'acide citrique et 100g sulfate de fer mélangé avec de l'eau. Ce mélange donne une coloration jaune.

Évidemment, l'agitation est indispensable pour le développement de la spiruline. Elle agit sur l'agglomération de la micro-algue en surface pour éviter la photolyse. Elle peut virer la couleur de la spiruline en vert clair ou jaune. Cette agitation se fait manuellement toutes les heures.

Les intrants chimiques et biologiques utilisés avec le dosage respectif pour le démarrage sont présentés dans les tableaux 2 et 3 suivants :

Intrants chimiques	Dosage
Bicarbonate de soude	10 kg
Urée	0.15 Kg
Sulfate de fer	2L
Sel	10 kg
Eau de mer	32 L

Chaux	0.02 kg
NPK 12-12-17	3 kg

Tableau 2. *Intrants chimiques utilisés avec leurs dosages dans le bassin*

Intrants biologiques	Dosage
Purin de ricin	10 L
Peau de banane	10 L
Fer à base de clou rouillé et de jus de citrons	2L
Sel	10 kg
Eau de mer	32 L

Tableau 3. *Intrants biologiques avec leurs doses*

Après trois jours de démarrage, l'ajout des intrants journaliers se fait tous les matins à 8 heures. Le dosage de l'intrant a changé au fur et à mesure pendant le déroulement de l'expérience. La dose initiale de l'intrant s'ajoute dans les tableaux 4 et 5 :

Culture conventionnelle	Dosage
Bicarbonate de soude	20g
Urée	20g

Tableau 4. *Dose initiale d'intrants journaliers de culture conventionnelle*

Culture biologique	Dosage
Purin de ricin	20MI
Peau de banane	20mL

Tableau 5. *Dose initiale d'intrants journaliers de culture biologique*

2.6. Observations de paramètres physico-chimiques et biologiques du milieu de culture

Le tableau 6 montre la méthodologie de suivi pendant la phase de multiplication et de production :

Eléments de suivi	Méthodologie de suivi
Caractères de la culture (couleur, odeur, formation de grumeau et autres caractères)	- pendant toute la phase de production pour une vérification étroite - pour la vérification de la formulation d'urée
Température	- 2 fois/j (à 8h et à 15h pour avoir une température proche de la minimale et de la maximale) - pour vérifier la faisabilité de l'installation du sachet transparent

Humidité	- 2 fois/j (à 8h et à 15h pour avoir une température proche de la minimale et de la maximale) - pour la vérification de l'humidité atmosphérique
Salinité	- 2 fois/j (à 8h et à 15h pour avoir une température proche de la minimale et de la maximale) - afin d'avoir une donnée sur le taux de purge nécessaire pour le climat du Nord-Ouest
Turbidité	- 2 fois/j (à 8h et à 15h pour avoir une température proche de la minimale et de la maximale) - pour vérifier la formulation du phosphore

Tableau 6. *Méthodologie de suivi pendant la culture*

2.7. Analyse des données

Pour le traitement des données, le test de Khi-deux a été utilisé :

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(o_i - c_i)^2}{c_i}$$

Les valeurs χ^2 sont obtenues par l'application de la formule suivante [JOH 92] :

Le degré de liberté (d.d.l) = (Nombre de ligne – 1) (Nombre de colonne – 1).

o : fréquence observée

c : fréquence calculée ou théorique

χ^2 : Khi-deux

3. Résultats

3.1. Variation de la production

Durant l'expérience, trois récoltes ont été faites dans les deux bassins expérimentaux. Elles montrent leur production en poids de spiruline égouttée et pressée.

3.1.1. Production de la culture conventionnelle

Le rendement de la culture conventionnelle est démontré dans la figure 6 :

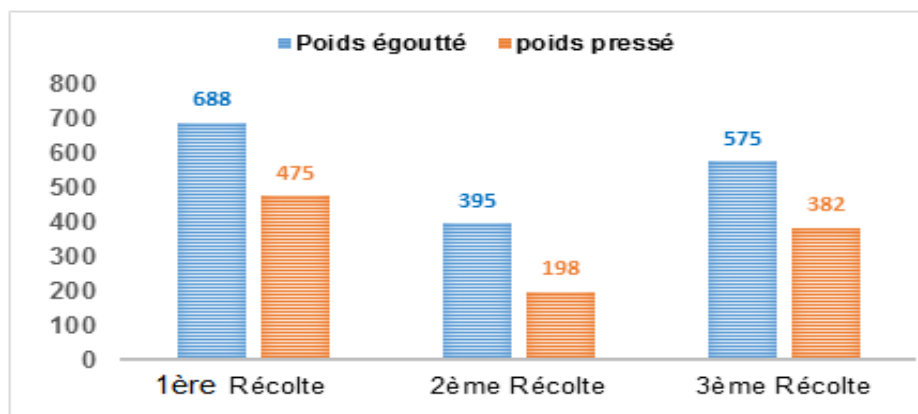


Figure 6. Milieu de la culture conventionnelle

Sur cette figure, les différentes productions varient respectivement entre 395 à 688g pour la spiruline égouttée et entre 198 à 508g pour la spiruline pressée.

En analysant les données par le test de khi-deux : $\chi^2_{cal} = 5,389 < \chi^2_{critique} = 12,706$ avec d.d.l = 1 ; $p = 0,117$, la différence entre le poids égoutté et le poids pressé pour la culture synthétique est non significative.

3.1.2. Production de la culture biologique

La récolte de la culture biologique est montrée sur la figure 7 suivante :

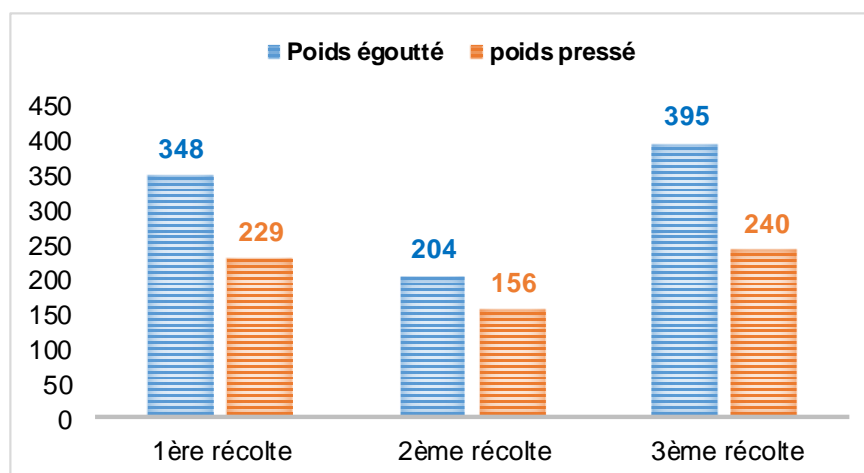


Figure 7. Variation de la récolte de culture biologique

D'après cette figure, le résultat de la récolte bio est assez différent de la culture conventionnelle. La variation de la production est respectivement entre 204 à 348g pour le poids égoutté, tandis qu'après avoir pressé, elle est entre 156 à 240 g de spiruline.

La différence entre le poids égoutté et le poids pressé dans la culture biologique est non significative parce que $\chi^2_{cal} = 3,136 < \chi^2_{critique} = 12,706$ avec d.d.l = 1 ; $p = 0,197$.

3.2. Paramètres biologiques

D'après l'observation macroscopique, les deux cultures sont en bonne santé (cf. figures 8 et 9) :

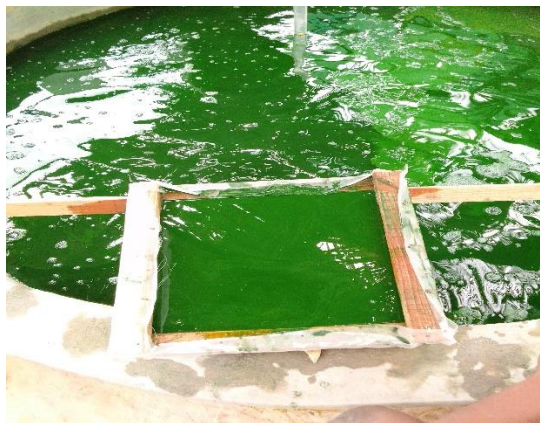


Figure 8. Concentration de la spiruline biologique



Figure 9. Concentration de la spiruline conventionnelle

Les deux milieux présentent une bonne couleur verte et foncée. La présence de grumeaux ou de mousse lors de l'agitation n'est pas détectée. Sur l'odeur, une forte odeur de ricin lors de démarrage a été constatée même au fil des jours suivants. Mais, elle se dissipe durant une semaine. Et la forte odeur d'ammoniac n'est pas remarquée au fil du jour d'expérience.

3.3. Paramètres physico-chimiques entre culture biologique et conventionnelle

3.3.1. Température du milieu

La figure 10 montre la variation de température du milieu de deux cultures :

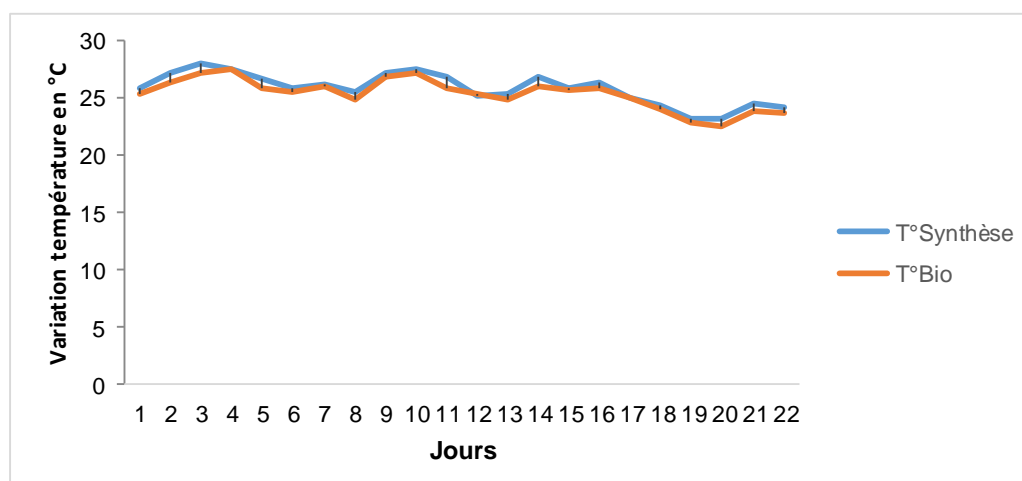


Figure 10. Variation de température de milieu des deux bassins

Pour la culture conventionnelle, la température est entre 23,1 à 28°C durant l'expérience tandis que celle de la culture biologique varie minimalement de 22,5 jusqu'à 27,5°C la température du milieu. Les deux courbes sont de même allure.

3.3.2. Potentiel d'hydrogène

Le pH des deux milieux est montré dans la figure 11 :

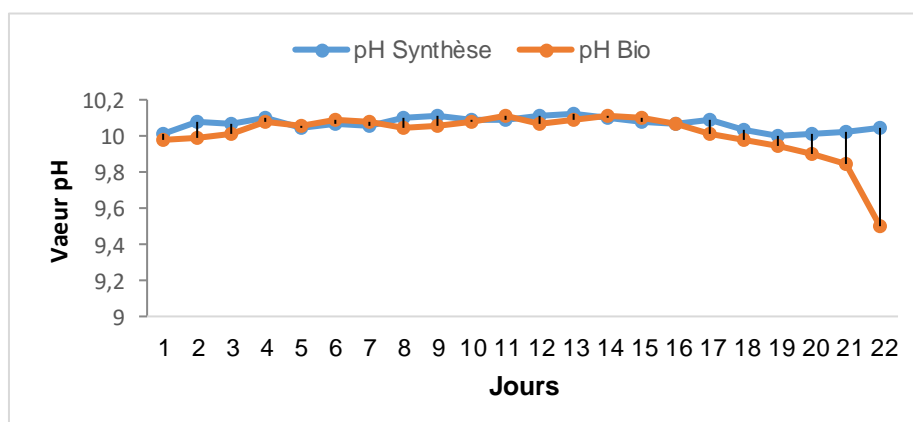


Figure 11. pH des deux bassins

Cette figure montre les activités de la spiruline de deux bassins et leur santé. Elle démontre que les activités sont bonnes et semblent être en bonne santé. La valeur maximale de la culture conventionnelle est entre 10,02 à 10,13. Tandis que celle de la culture biologique varie entre 9,85 à 10,12.

3.3.3. Concentration de la spiruline

Les figures 12 et 13 montrent la concentration de la spiruline biologique et conventionnelle :

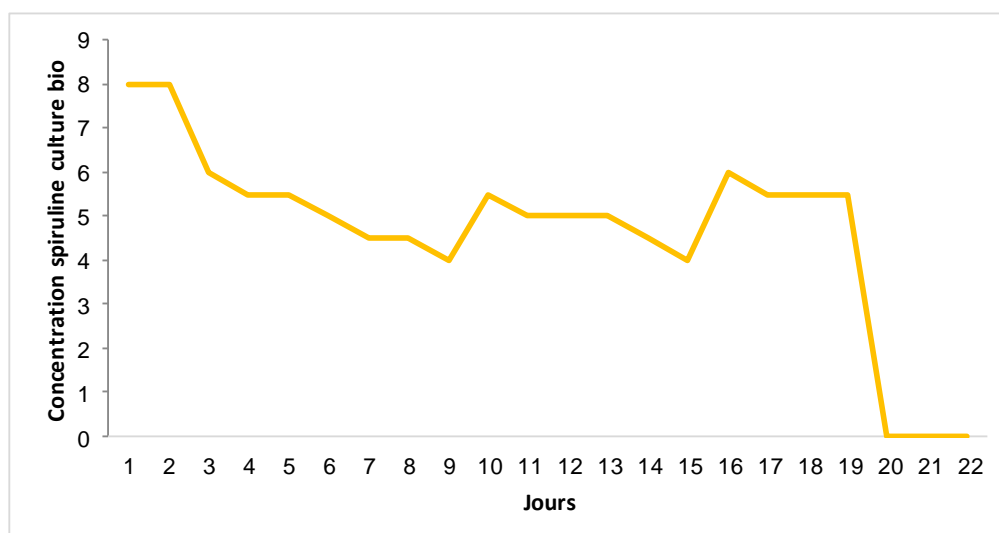


Figure 12. Concentration en spiruline de la culture biologique

Cette figure démontre la concentration du milieu au 1^{er} jour qui est de 8 cm ; lorsque le disque de secchi montre 4 cm, alors elle est prête pour être récoltée.

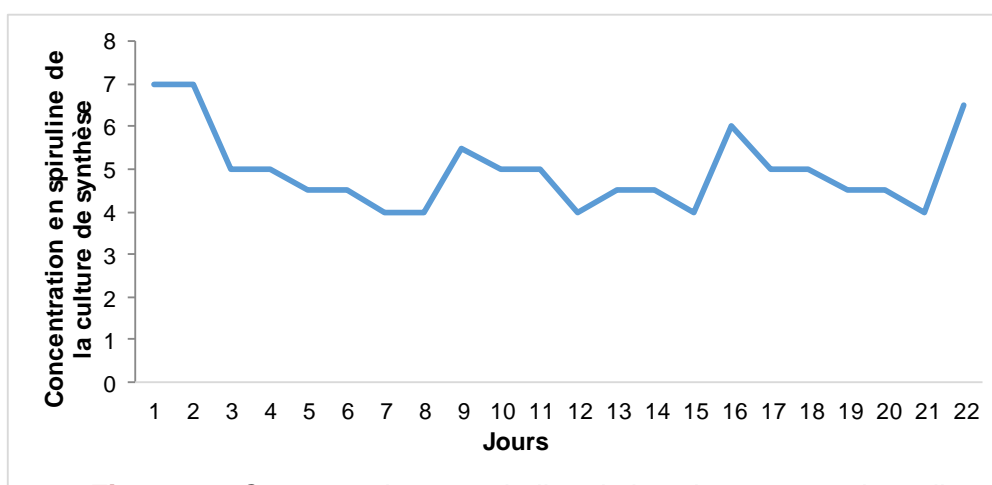


Figure 13. Concentration en spiruline de la culture conventionnelle

4. Discussion

Pendant cette phase de multiplication, aucune odeur d’ammoniac n’a été sentie et aucune formation de grumeau, non plus, n’a été notée. Cependant, pendant la transvasation qui est le remplacement du récipient de culture, des restes de NPK sont trouvés sur le fond des récipients et la culture est de couleur verte. Cette couleur verte foncée de la culture de la spiruline montre que la teneur en azote dans le milieu de culture est suffisante pour la croissance et l’apport en protéine de la biomasse [JOR 06].

La spiruline comme toutes les plantes vertes utilisent la photosynthèse pour absorber le CO₂ et le transformer en différents composés organiques. Cela contribue donc à la diminution du CO₂ dans l’atmosphère. La quantité de carbone piégée dans les écosystèmes terrestres est environ 3 fois plus élevée que celle atmosphérique. Ce carbone du sol est 700 fois plus important que l’augmentation annuelle en CO₂ [CIR 02]. Par conséquent, des modifications mêmes faibles de la capacité de séquestration de cet énorme réservoir pourraient avoir des répercussions déterminantes sur l’évolution du taux de CO₂ atmosphérique. Le stockage de Carbone (C), sous forme de biomasse à la surface du sol et sous forme d’humus dans le sol, peut ainsi constituer une solution à développer à grande échelle. Cette solution est efficace et peu coûteuse si elle se fait à partir de systèmes de culture facilement appropriables par les agriculteurs, qui répondent à leurs besoins et exigences technico-économiques locales.

Pour la culture de spiruline biologique, le problème de base sur cette culture est un engrais azoté minéral pour permettre à la spiruline de s’y développer largement. Plusieurs techniques sont viables et représentent quelques avantages et inconvénients majeurs dans la conception de l’intrant biologique. Comme les purins de plantes, l’urine animale, la fermentation anaérobie de matière organique, l’engrais industriel fabriqué à partir des produits animaux ou végétaux, ces exemples s’affichent comme des sources azotées intéressantes.

Dans l’expérimentation, la culture se base sur des purins de plante, précisément, celle de *Ricin communis* et de la peau de banane. Durant l’expérience, la fermentation anaérobie de tourteau présente une forte odeur de ricin et elle dure environ une semaine. A cause de l’odeur, la culture est très méphitique pendant quelques jours. L’avantage du purin se conforme sur le plan financier. Il n’est pas coûteux, au contraire il est très économique. La base de purin est une plante qui peut fermenter soi-même. Il est facile à préparer et à conserver du soleil. Tandis que l’inconvénient majeur est l’odeur très nauséabonde lors de la fermentation. Il pollue le milieu de la spiruline rendant la durabilité moyenne et traînant une agglomération de boue noirâtre au fond du bassin. Psychologiquement, les personnes consommant de la spiruline ne voudraient pas savoir la forme d’intrants noirâtres mis dans le bassin avec une forte odeur. Le purin fragilise beaucoup le milieu de la spiruline et même la spiruline lui-même. Dans le jardin, il est probablement très avantageux et très utilisé par les jardiniers pour sa qualité naturelle, fraîche et facile à créer.

Durant la préparation du milieu, les deux colorations sont dues aux intrants mis lors du démarrage. La coloration noirâtre vient de *Ricin communis* avec une forte odeur tandis que la couleur jaunâtre provient du sulfate de fer mélangé avec de l'acide citrique.

Dans la recherche documentaire, peu de documents ont été trouvés pour le dosage en gramme ou en litre de la culture biologique. Par contre, la culture conventionnelle présente plusieurs doses référentielles.

Aujourd'hui, le développement de la culture de micro-algues trouve une application potentielle pour l'adaptation au changement climatique. Dans le monde, le dioxyde de carbone (CO₂) constitue une véritable menace. Mais pour certains pays, il représente une solution pour lutter contre l'épuisement de ressources naturelles et contre la malnutrition en le considérant comme une matière première. En effet, le dioxyde de carbone (CO₂) émis par les usines qui produisent de l'énergie, du ciment ou du carbonate de calcium peut donc être utilisé pour la culture industrielle des algues.

La faible concentration en CO₂ dans l'atmosphère n'est pas suffisante pour les besoins d'une bonne culture et d'une production rationnelle. Il est nécessaire d'apporter régulièrement un supplément de carbone sous forme de CO₃ dissous et de HCO₃ sous leur forme gazeuse.

Durant l'expérience, la source carbonée n'est pas trouvée pour combler le manque de carbone. La ressource de carbone trouvée est le carbone atmosphérique qui est une source naturelle mais pas assez pour le bon développement de la spiruline. Par rapport à la spiruline conventionnelle, l'apport en carbone par le bicarbonate de sodium a été fourni. Dans nombreuses recherches faites, le biodigesteur ou bioréacteur est une solution efficace contre le manque de carbone. Il apporte de carbone grâce à des affluents organiques et même un apport en azote. Ce type de démarche, est appelé « Ecologie industrielle ». Il s'agit de mimer la nature en transformant les déchets d'une industrie en ressource pour une autre. C'est l'utilisation des déchets d'une entreprise comme matières premières d'une autre.

Les engrais NPK et le purin sont des intrants nécessaires pour le bon développement. Pour la spiruline conventionnelle, les engrais de taux d'azote 12%, de phosphate 12% et 17% de potassium ont été utilisés. Tandis que pour la spiruline biologique, ils sont respectivement de 6% d'azote, 2 à 3% de phosphore et 1% de potassium. Les taux d'apports d'engrais NPK sont doublés à celui du ricin et de la peau de banane. Sur de nombreuses recherches, elle est riche en potassium et en phosphore.

La dose d'intrant mise dans le bassin monte à chaque semaine d'expérimentation. Initialement, elle est à 20 mL de ricin et 20 mL de peau de banane mis après le démarrage pour la culture biologique. À la deuxième semaine, la dose d'intrant journalier s'élève à 50 mL chacune et à la troisième semaine, elle s'achève à 100 mL. Au dix-huitième jour d'expérimentation, la couleur de la culture biologique change en une couleur blanche laiteuse démontrant une suralimentation du milieu, suivie d'une forte odeur d'urée. Cette couleur démontre une forte augmentation du taux minéral dans le milieu et synonyme d'une forte mortalité pour la spiruline.

La température assure un travail primordial dans le développement de la spiruline. Durant l'expérience, une baisse de température au dixième jour a été détectée dont la valeur est à 22°C qui est normalement un inconvénient pour la croissance de la spiruline. La température exacte pour une bonne croissance est entre 25°C à 40°C [JAR 05]. Pour avoir une bonne production, la température doit atteindre la température optimale de 35°C.

La température du milieu observée varie respectivement de 23°C à 28°C pour la culture conventionnelle et pour la culture biologique, entre 22°C à 27°C en assurant son développement et sa croissance. Mais, elle tombe en chute à 22°C entraînant un arrêt de la croissance nette de la spiruline. Si cette température descend de 20°C, la croissance est inexistante [FOX 99]. Pour les paramètres physico-chimiques, la température notée pendant l'expérience est très proche de l'optimale et profitable pour la culture. Ceci contribue à un bon résultat de croissance [ZAR 66]. La serre utilisée a

atténué la température aux alentours de 37,0 °C. De plus, c'est par l'effet de serre que la température affiche une légère diminution jusqu'à la fin de la journée. Ainsi, dans la région, avec l'utilisation d'une doublure de sachet transparent, l'installation de bassin doit être faite de façon non hermétique pour ne pas dépasser la limite maximale de la température.

Selon Antenna de France, le pH normal est compris entre 9.5 et 10.50. Le pH du bassin conventionnel et biologique n'est pas très identique. Le pH de la spiruline conventionnelle diffère entre 10,02 à 10,13. Tandis que la spiruline biologique au départ est 9,98 jusqu'au 10,12. Donc l'activité de la spiruline est bonne pour la culture de deux bassins.

5. Conclusion

L'objectif de ce travail est d'essayer une étude sur le sujet utopique de la culture biologique en utilisant des intrants purement biologiques : le purin de ricin qui a un apport NPK et l'infusion de la peau de banane qui est riche en potassium et en phosphore.

Les problèmes alimentaires existent au Nord comme au Sud. Les Tiers Mondes sont affligés par la malnutrition tandis que les pays développés souffrent de la maladie de dégénérescence. Madagascar est un pays riche avec une population pauvre. La pauvreté est un fléau majeur qui touche la population *malagasy*. Elle a pour conséquence l'instabilité du revenu par ménage conduisant à une insuffisance et à une forte insécurité alimentaire.

La spiruline présente un taux de protéine allant jusqu'à 70%. A côté de ses vertus thérapeutiques et nutritionnelles, la spiruline pourrait être un véritable outil de développement. D'une part elle peut résoudre les problèmes de manque en matière de protéines animales et de l'insécurité alimentaire. D'autre part, elle favorise aussi l'initiative locale par l'appropriation de sa culture en créant des unités de production. Elle est également un moyen de lutte contre la pauvreté à travers la création d'emploi. Ce travail est une étude sur le sujet utopique de la culture biologique en faisant une comparaison des résultats avec la culture conventionnelle. La culture biologique se traduit par l'utilisation des intrants purement biologiques comme le purin de ricin qui a un apport NPK et l'infusion de la peau de banane qui est riche en potassium et en phosphore.

La culture de spiruline nécessite plusieurs matériels notamment sur le suivi des paramètres physico-chimiques, matériels pour la récolte, matériels pour le conditionnement et d'autres matériels nécessaires à la culture. La souche *Arthrospira platensis var. toliaraensis* a été choisi lors de cette étude puisque les conditions climatiques de la Région *Boeny* est similaire à celle de *l'Atsimo Andrefana*. Et les paramètres physico-chimiques sont similaires pour les deux cultures car les deux milieux se trouvent dans un même endroit.

D'après les hypothèses, la culture de spiruline biologique est faisable à *Mahajanga* en utilisant des intrants biologiques disponibles localement à *Mahajanga*. En comparant les deux milieux, la culture conventionnelle est plus riche en intrants que la culture biologique défaillant en carbone qui, pourtant, est la source nutritive pour le développement de la spiruline.

Des études supplémentaires seront nécessaires pour rechercher de nouvelles possibilités d'intrants biologiques riches en carbone. L'utilisation de bioréacteur apporte plusieurs avantages dans la culture de la spiruline. Les zones littorales riches en bicarbonate de sodium de la côte Ouest de Madagascar, sont favorables au développement de cette écologie industrielle. Il est envisagé de monter puis de concrétiser d'autres projets de culture de spiruline biologique pour la sécurité alimentaire de la région.

Bibliographie

[ANT 80] AntanasIU L., Polescu L. et Spirescu I., Les acides aminés et les glucides solubles dans la *Spirulina platensis*, *Revue biologique – Biologie végétale*, Tome 25, Numéro 1, Bucarest, 1980.

- [BER 14] Bernard B., La phycocyanine, un véritable joyau thérapeutique, [En ligne] Disponible sur : <http://www.acteur-nature.com/interview-d-experts-du-naturel/la-phycocyanine-un-veritable-joyau-therapeutique.html>, (Consulté le 12/04/2021), 2014.
- [BER 13] Bernard S., Mille et une plantes en Nouvelle-Calédonie, Nouméa, *Edition Photosynthèse*, p.382, 2013.
- [BUC 90] Bucaille P., Intérêts et efficacité de l'algue spiruline dans l'alimentation des enfants présentant une malnutrition protéino-énergétique en milieu tropical. *Thèse de doctorat, Université Paul Sabatier Toulouse III*, 123p, 1990.
- [CIR 02] Cirad, Dossier séquestration du carbone, 42p, 2002.
- [FOX 95] Fox, R. D., « Spiruline - Technique, pratique et promesse ». *Article EDISUD*, 1995.
- [FOX 99] Fox, R. D., Spiruline du renouveau Propriétés et consommation de la spiruline http://www.spirulinedurenouveau.com/proprietes_consommation.htm, 1999.
- [HER 03] Hervieu B., La marchandisation du vivant : pour une mutualisation des recherches en génomique. *Sciences de l'Homme et société*. 43P, 2003.
- [JAR 05] Jarisoa T., Adaptation de la spiruline du sud de Madagascar à la culture en eau de mer, mise au point de structure de produit à l'échelle villageoise, *Thèse de doctorat en océanographie appliquée, Institut Halieutiques et des Sciences Marines (IHSM), Université de Toliara, Toliara, Madagascar*, 2005.
- [JOH 92] Johnson. Bio-écologie et abondance du rôle d'olivier *Amaurornis olivieri* (grandidier et Berlioz 1929) dans l'aire protégée de Mandrozo, District de Maintirano, Région Melaky Madagascar. *Mémoire de diplôme d'études approfondies*, 1992.
- [JOR 06] Jourdan J. P., Cultivez votre spiruline, manuel de culture artisanale pour la production de spiruline, Antenna Technology, Genève. 126p (version mise à jour), 2006.
- [LEC 17] Lecointre R., Optimisation de la production de spiruline dans une ferme à Madagascar afin de lutter contre la malnutrition infantile, *Mémoire ingénieur*. 70p, 2017.
- [LOI 08] Loïc C., Marie J. L., et Romain A., « La spiruline peut-être un atout pour la santé et le développement en Afrique ? » *Institut de Recherche pour le Développement (IRD)*, Marseille, 49p, 2008.
- [LOS 93] Loseva L. P. et Dardynskaya I. V., Spirulina natural sorbent of radionucleides. *Research Institute of Radiation Medecine* 86p, 1993.
- [MIC 05] Michka, La spiruline pour l'homme et la planète. 202p, 2005.
- [RAK 11] Rakotoniaina, Observation à l'aide des images satellitaires Landsattm multitudes des impacts du transfert de la gestion forestière aux communautés de base : cas de la Commune de didy, Région d'Alaotra-Mangoro, Madagascar. *Journal of Applied*, 2011.
- [RAK 14] Rakotoson M. S., Evolution du carbone et de l'azote sur la production de spiruline. Cas de la ferme spirusud-antenna « manamaitso », Maninday – Toliara II – Région Atsimo Andrefana, *mémoire de fin d'étude en vue d'obtention de diplôme de Licence en production halieutique et aquacole. IH.SM/Université de Toliara*, 2014.
- [RAM 12] Ramampihrika K. D., Actions et recherches pour une lutte contre le changement climatique et l'épuisement des ressources conventionnelles dans le Sud-Ouest de Madagascar, *Habilitation à Diriger des Recherches, Option : Environnement et changement climatique*, 278p, 2012.
- [RAM 06] Rambolarimanana T., Etude de préféabilité technico-économique de la production de spiruline *Arthrospira platensis. var toliara* - valorisation des ressources disponibles, *Mémoire de fin de Stage, Maîtrise des Sciences et Techniques de la Mer et du Littoral*, Université de Toliara, Institut Halieutique et des Sciences Marines Toliara, Madagascar, 2006.
- [ROM 08] Romain, La Spiruline peut-elle être un atout pour la santé et le développement en Afrique http://www.com.univmrs.fr/IRD/cyroco/pdf/expertise_spiruline/Spirumap.pdf, 2008.
- [SES 93] Seshadri C. V., Large scale nutritional supplementation with spirulina alga. All India Coordination project on spirulina, 47p, 1993.
- [VON 97] Vonshak A., *Spirulina platensis* (Arthrospira), physiology, cell-biology and biotechnology, Institute for Desert Research of Ben-Gurion University NegevIsrael, 223p, 1997.
- [ZAN 90] Zannini P., Wall ultrastructure and biochemical features of the *Juglansregia* L. and *Juglansnigra* L. male gametophyte. Analyzed and described various morphological and biochemical, 1990.
- [ZAR 66] Zarrouk C., Contribution à l'étude d'une cyanophycée Influence de divers facteurs physiques et chimiques sur la croissance et la photosynthèse de *Spirulina maxima* (Setch et Gardner) Geitler, Université de Paris, 1966.

