

# **Etude de la valeur nutritionnelle de la Spiruline de Madagascar (*Spirulina Platensis Var. Toliara*)**

Jean Marie Razafindrajaona <sup>\*1</sup>, Jean de Neupomucène  
Rakotozandriny <sup>1</sup>, Raphael Rakotozandrindrainy <sup>1</sup>, José  
Narcisse Randria <sup>2</sup>, Kotonirina Daniel Ramampihrika <sup>3</sup>

<sup>1</sup> ESSA, Université d'Antananarivo

<sup>2</sup> CNARP, Antananarivo

<sup>3</sup> IHSM, Université de Toliara

\* à qui toute correspondance doit être adressée.

## **RESUME**

La biomasse fraîche de spiruline est une matière biologique très riche en eau (84,4%). Le séchage par déshydratation a éliminé 87,9% de cette eau, conservant 25,8% de la matière totale qui reste stable pendant au moins 1 an. Son énergie brute moyenne de  $397,3 \pm 41,6$  kcal/100g.

La teneur en protéine de la spiruline est de 59,3% environ et sa variation temporelle et géographique est non significative. L'analyse qualitative montre que tous les acides aminés sont présents dans la spiruline et leur fréquence relative par rapport à l'alanine diffère de celle des champignons filamenteux et de l'*Escherichia coli*.

Les acides aminés indispensables sont présents au moins dans les quantités minimales requises, sauf pour le Cys et les acides aminés soufrés Met et Try. Cette composition reflète une quantité faible d'acides aminés basiques (Lys, His et Arg) mais une teneur assez élevée de l'Arginine. Les proportions d'Asparagine et de Glutamine sont très élevées. La valeur biologique des protéines de la spiruline est très élevée ; cependant, l'optimum pourrait être atteint par complémentation avec une bonne source d'acides aminés soufrés (méthionine et cystine) de lysine et/ou d'histidine.

La composition en acides gras de la matière grasse corrobore les caractéristiques du groupe systématique de la spiruline : la dominance de l'acide palmitique C16:0, puis de l'acide gamma linoléique (gamma 18:3) et linoléique (18:2) et enfin la présence en quantité modeste de l'acide oléique (18:1), palmitoléique (16:1) et stéarique (18:0). Sa composition se rapproche sensiblement celle de *S. platensis* mais elle diffère énormément de la fraction lipidique de *S. maxima*. Cependant, elle a les spécificités suivantes : la présence en forte quantité de l'acide alfa linoléique (alfa 18:3), la présence de l'acide arachidonique, l'existence de plusieurs acides gras encore non-identifiés.

La spiruline séchée contient environ 9,8% de matière minérale composé essentiellement comme macro-éléments de : sodium (23,9 g/kg), le potassium (15,5 g/kg), le phosphore (7,3 g/kg), calcium (3,4 g/kg) et le magnésium (2,0 g/kg). Les oligo-éléments sont constitués exceptionnellement par le fer (718,3 mg/kg), le manganèse (20,8 mg/kg), le zinc (10,8 mg/kg), le cobalt (1,5 mg/kg) et le cuivre (1,0 mg/kg). Sa bonne conservation est favorisée par son taux d'humidité faible, son pH acide et sa teneur élevée en NaCl.

La spiruline est 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.

**MOTS CLES :** *spiruline, Madagascar, valeur nutritionnelle*

## INTRODUCTION

La spiruline dont le nom scientifique est *Spirulina* sp. ou *Arthrospira* sp. est l'un des êtres vivants les plus vieux de notre planète. Apparue sur la terre il y a 3,5 milliards d'années, cette algue bleue microscopique se développe dans les régions tropicales et subtropicales possédant de multiples utilités: Agro-alimentaire, pharmaceutique, écologique et biotechnologique, etc. (ZARROUK, 1966 ; CIFFERRI, 1983 ; CIFFERRI, 1985 ; KAY, 1991 ; DILLON et al., 1995 ; KOZLENKO et al., 1996 ; HENRIKSON, 1999 ; CYANOTECH, 2000 ; CORNET, 1998 ; ANTENNA, 2004 ; WIKIPEDIA, 2005 ; JORDAN, 2005 ; MELISSA, 1996 ; MELISSA, 1997 ; FOX, 1986 ; FOX, 1996 ; FOX, 1999 ).

De nombreuses études ont montré des effets positifs de sa consommation sur la santé humaine et animale (SAUTIER et TREMOLIERES, 1975 ; BUCAILLE, 1990 ; DELPEUCH et al., 1975 ; MIAO, 1987 ; PROTEUS, 1975 ; SANTILLAN, 1974 ; SESHADRI, 1993). Elle apparaît comme une algue de l'espoir qui aura un rôle de premier plan à jouer pour relever le défi d'autosuffisance alimentaire et pour servir de remède à certaines maladies qui touchent en particulier les pays en voie de développement (FOX, 2002)

A Madagascar, elle a été découverte à Tuléar en 1989 par le Dr RAMAPIHERIKA Kotonirina Daniel et l'Equipe de l'IHSM de Toliara, faisant ainsi l'objet de nombreuses études fondamentales et appliquées de valorisation ( RAMAPIHERIKA, 1991-2005 ; RASAMOELINA, 1999 ; RAKOTONARIVONDRIANAIVO, 2002 ; RAVAONIRINA, 2002 ; RAMAROSON, 2003 ; ERIKSSON, 2004).

Son exploitation à l'échelle industrielle nécessite des données scientifiques de base de ses propriétés réellement valorisables. Mais, jusqu'à ce jour, la valeur nutritionnelle de notre souche reste incomplète (RAKOTOZANDRINY, 2000).

Ainsi, une étude scientifique complémentaire sur la spiruline de Madagascar s'impose. La présente étude se propose de déterminer la potentialité nutritionnelle de la spiruline malgache, en vue de sa valorisation scientifique et alimentaire à Madagascar.

## **MATERIELS ET METHODES**

### **LES ECHANTILLONS DE SPIRULINES**

#### **La souche vivante et fraîche**

C'est une souche de *Spirulina platensis* var. *Toliara*. Elle a été prélevée à Toliara, dans le bassin naturel semi-contrôlé du Dr RAMAMPIHERIKA Kotonirina Daniel pendant six ans de 2000 à 2005. Elle est la souche de référence, utilisée pour la culture in vitro au laboratoire et la modélisation du séchage.

#### **Les spirulines séchées**

Elles ont été échantillonnées pour déterminer la valeur nutritionnelle théorique et son éventuelle variation dans l'espace. Les échantillons proviennent de la culture et séchage aux laboratoires de l'ESSA (au centre), de Toliara ( au sud), de Morondava (au sud Ouest) et d'Antsirabe (au centre sud). La souche cultivée à Antsirabe provient de Morondava, et celle de Morondava de Toliara.

Ce sont donc les mêmes souches de *Spirulina platensis* variété Toliara. La constitution des échantillons est donnée dans le tableau N°1.

**Tableau n°1 : Caractéristiques des échantillons de spiruline étudiés**

Désignation	Nombre d'échantillons	Culture ou Préparation	Origine	Forme de présentation et Conditionnement	Années de prélèvement	Analyses effectuées
1 <sup>ère</sup> Spiruline fraîche	24	Milieu naturel	Toliary	Culture fraîche Bidon de 20 litres	2000, 2001, 2002, 2003, 2004	CG
2 <sup>ème</sup> Spiruline fraîche	24	Culture de laboratoire	Labo de l'ESSA	Culture fraîche Erlen ou Fermenteur de 10 litres	2000, 2001, 2002, 2003, 2004	CG
1 <sup>ère</sup> Spiruline séchée	6	Séchage au laboratoire	Labo de l'ESSA	En paillette sèche En vrac ou en Sachet Polyéthylène	2004	CG, EB, AAFP, AGFL, EM
2 <sup>ème</sup> Spiruline séchée	33	Séchage au sécheur électrique	Toliary	En paillette sèche sachet Polyéthylène blanc	2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005	CG, EB, AAFP, AGFL, EM
3 <sup>ème</sup> Spiruline séchée	3	Séchage au sécheur solaire	Morondava	En poudre Polyéthylène noir interne et une 2 <sup>ème</sup> Polyéthylène blanc externe	2005	CG, EB
4 <sup>ème</sup> Spiruline séchée	3	Séchage au sécheur solaire	Antsrahe	En paillette sèche En vrac	2005	CG, EB

*CG : composition générale (Eau, Protéine, Lipide, Cendres, Glucide), EB : énergie brute*

*AAFP : acides aminés de la fraction protéique, AGFL : acides gras de la fraction lipidique*

*EM : éléments minéraux des cendres totales*

**MATERIELS D'EXPERIMENTATION ET D'ANALYSES**

A partir de la souche de spiruline provenant du lac naturel semi-contrôlé de Tuléar , des analyses (Tableau N°2) ont été faites au laboratoire de Nutrition Animale Département Elevage de l'ESSA (Antananarivo - Madagascar), au Laboratoire du Département des Industries Agricoles et Alimentaires de l'ESSA (Antananarivo-Madagascar) et au laboratoire de la Station Fédérale Helvétique de Recherche sur la Production Animale (Fribourg - Suisse)

## METHODES D'ANALYSES

Dans cette étude, la détermination de la valeur nutritionnelle de la spiruline comprenait :

- L'analyse de la composition générale (Eau, Protéines, Lipides, Cendres, Glucide)
- la détermination de l'énergie brute
- l'analyse de la composition en acides aminés de la fraction protéique
- l'analyse de la composition en acides gras de la fraction lipidique
- le dosage des éléments minéraux des cendres

Les méthodes d'analyse utilisées sont décrites dans le tableau N°2.

**Tableau n°2 : Méthodes de détermination de la valeur nutritionnelle des échantillons**

Constituants	Méthodes adoptées	Référence
Matière sèche	Séchage à l'étuve à 105°C ± 2°C, puis passage des parties sèches	NF V 04-232 (ISO 5534)
Cendres brutes	Minéralisation au four à 550°C ± 2°C	Manuel d'analyses du Département Elevage
Matière grasse	Extraction à l'hexane de l'échantillon préalablement ajoutée d'acide chlorhydrique	NF V 04-233 (ISO 1734)
Matière azotée totale	Minéralisation, puis distillation de l'azote total	KJELDMo.L
Matière glucidique	Déduction à partir des principes alimentaires survent matière sèche (MS), Matière minérale (MM), Matière azotée totale (MAT) et matière grasse (MG)	
Acides gras	Préparation de l'ester méthylique de matière grasse, puis chromatographie en phase gazeuse	NF T 60-233 NF T 60-234
Éléments minéraux	Spectrométrie et AAS	Manuel de la Station Fédérale Helvétique sur la production animale
Acides aminés	Chromatographie en Phase Liquide en Haute Pression	
Pouvoir calorifique	Combustion adiabatique	Manuel d'analyses du Département Elevage

## TECHNIQUES D'EXPLOITATION DES RESULTATS

Les données brutes ont été compilées puis traitées par les logiciels Excel version 2003, STATITCF version 5.0, MICROSTA version 2.00. Pour faciliter leur interprétation, elles sont généralement présentées sous forme graphique avec le logiciel Excel 2003.

Les résultats sont exprimés en pourcentage (%) par rapport à la matière totale et/ou par rapport à la matière sèche. Pour la composition en acides aminés, le deuxième résultat est exprimé en fréquence relative (en %) par rapport à l'Alanine, suivant le modèle de présentation proposé par LEHNINGER en 1975.

## RESULTATS, INTERPRETATION et DISCUSSION

### RESULTATS

#### Composition générale et bromatologique de la spiruline de Madagascar

Le tableau N°3 montre la composition de la spiruline en eau, matière minérale et matière organique.

**Tableau n°3: Composition générale de la biomasse fraîche et séchée de la spiruline de Madagascar (en p. 100g de l'échantillon)**

Echantillons	Spiruline fraîche		Spiruline séchée			
	Lac	labo	labo	Tohara	Merondava	Ibity
Eau	24,4	24,3	9,2	10,9	6,8	10,6
Matière minérale	1,8	1,9	11,4	10,7	8,9	9,1
Matière organique	13,8	13,9	79,4	78,5	84,3	80,3

Si la biomasse fraîche de spiruline est un aliment très hydraté, la spiruline sèche est riche en protéines et en énergie. En effet quelle que soit la provenance de cet aliment, 100g de cette substance contient au moins 56,6% de matière azotée et au moins 387,4 kcal d'énergie (Tableau N°4).

**Tableau n°4: Composition chimique et valeur énergie potentielle de la spiruline séchée de Madagascar**

	Eau (%)	Matières Azotées Totales (%)	Matières Grasses (%)	Cendres Brutes (%)	Fibres (%)	Extraitif Non Azoté (%)	Energie brute (Kcal/100g)
Laboratoire	9,2	57,8	7,2	11,4	2,1	12,3	ND
Tolara	10,9	56,6	6,7	10,3	2,0	13,5	387,4
Morendava	6,8	62,3	7,7	8,9	2,6	11,7	427,5
Ibity	10,6	60,4	9,0	9,1	2,0	8,8	406,7

ND : *Non déterminée*

#### **Composition en acides aminés de la partie protéique de la spiruline de Madagascar**

La teneur moyenne de la spiruline de Madagascar en protéines est très élevée (59,3%) et tous les acides aminés y sont présents mais dominés par le Glutamine (17,6%) l'Asparagine (10,08%), puis la Leucine (7,6%), l'Alanine (6,0%) et la Valine (5,6%).

Les autres acides aminés ont un taux moyen de 4,5%, sauf la Méthionine (2,2%), l'Histidine (2,1%), la Tryptophane (2,0%) et le cystéine (1,0%) La richesse et la composition en acides aminés de la spiruline de Madagascar sont résumées dans les tableaux N°6 et N°7 et les figures N°1, N°2 et N°3.

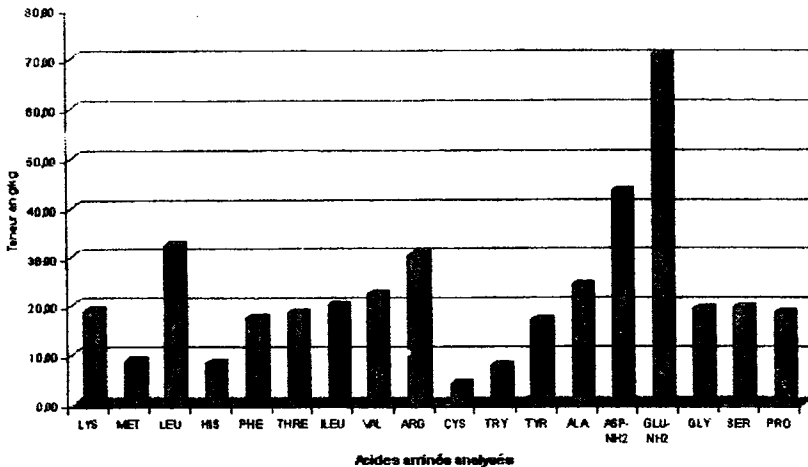


**Tableau n°6: Teneur en Acides aminés essentiels de la spiruline séchée de Madagascar ( en g/kg de Matière Sèche)**

	Lys	Met	Leu	His	Phe	Thr	Ileu	Val	Arg
Minimum	17,72	8,13	24,65	7,58	15,74	14,30	13,97	16,84	18,60
Moyenne par rapport à la MS	18,91	8,75	32,37	8,26	17,45	18,58	20,00	22,43	30,33
Maximum	19,69	9,68	37,11	9,57	18,78	21,16	23,76	25,68	36,99
Ecart type	0,73	0,70	5,81	0,94	1,27	3,16	4,54	4,22	8,87

**Tableau n°7: Teneur en acides aminés non essentiels de la spiruline séchée de Madagascar (en g/kg Matière Sèche)**

	Cys	Try	Tyr	Ala	Asp-NH <sub>2</sub>	Glu-NH <sub>2</sub>	Gly	Ser	Pro
Minimum	3,90	7,02	13,20	14,96	32,46	64,26	16,18	17,94	15,71
Moyenne par rapport à la MS	4,11	7,87	16,88	24,22	43,28	70,74	19,18	19,58	18,50
Maximum	4,30	9,24	18,78	29,08	49,35	74,67	20,93	20,59	23,33
Ecart type	0,17	1,03	2,68	7,05	8,11	4,38	2,22	1,07	3,63



**Figure n°1 : Teneur en acides aminés de la spiruline de Madagascar ( en g/kg de Matière Sèche)**

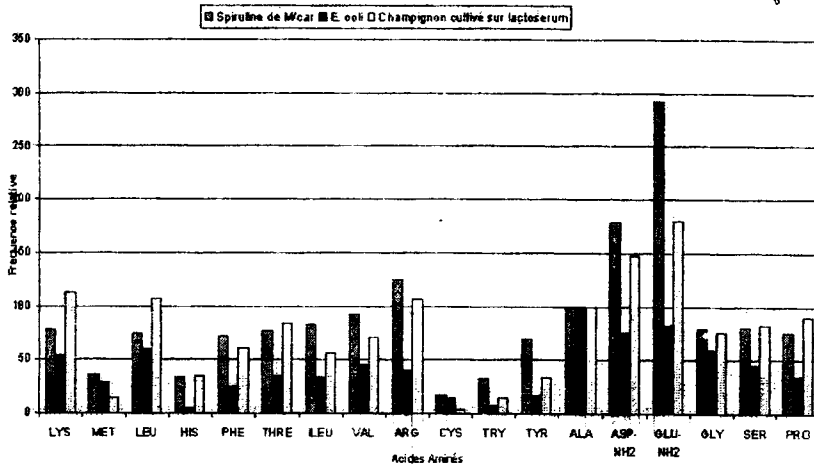


Figure n°2 : Fréquence relative des acides aminés par rapport à Alanine

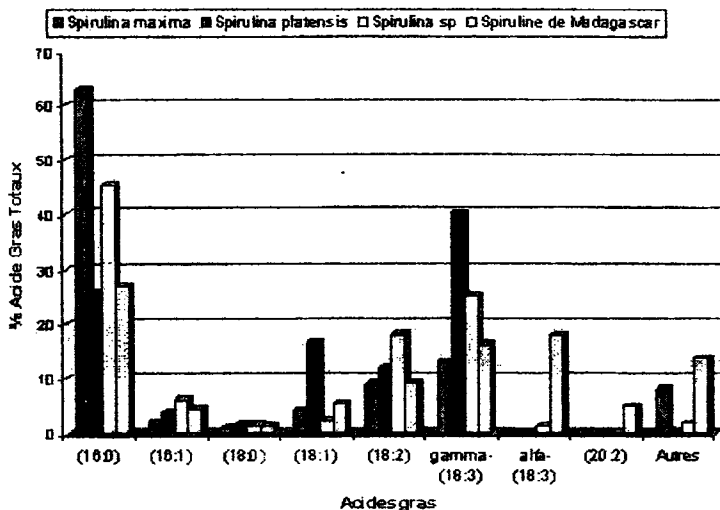
Source Composition de *E. coli* (LEHNINGER., 1975),

Composition de champignon (FEURY et al., 1977)

**Composition en acides gras de la fraction lipidique de la spiruline**

**de Madagascar**

La teneur en matière grasse de la spiruline de Madagascar est en moyenne de 7,22%, soit 8% par rapport à la matière sèche. Elle est légèrement supérieure aux données de la littérature qui varient de 5,6 à 7% de la matière sèche (BUJARD et al., 1970 ; SANTILLAN, 1974 ; CHALLEM et al., 1981 ; EARTHRISE, 1995).



**Figure n°3 : Composition en acides gras de la fraction lipidique de la spiruline de Madagascar**

( sources pour *S. platensis* et *S. maxima* : PASCAUD, 1993)

Ces résultats montrent la matière grasse de la spiruline de Madagascar est constituée principalement d'acides gras insaturés (67,1%). Elle est donc liquide à la température ambiante. Leur chaîne est généralement en nombre pair et linéaire.

En terme de groupage, les acides gras saturés tiennent la première place (presque le tiers des acides gras), puis viennent ensuite les quadri-insaturés, suivis des tri-insaturés et des mono-saturés. Quelques acides gras sont encore non- identifiables. Ils nécessitent des études plus approfondies.

Comparée à d'autres espèces, la spiruline de Madagascar présente sa spécificité, notamment sa richesse en alpha 18:3, en acide arachidonique (20 :2w6) et en divers acides gras encore non identifiés. Elle se rapproche sensiblement à celle de *S. platensis* mais diffère énormément des *S. maxima*.

**Eléments minéraux de la cendre de la spiruline de Madagascar**

La détermination de la composition en éléments minéraux de la cendre brute de la spiruline de Madagascar est résumée dans les figures N°4 et N°5. Elles montrent la richesse exceptionnelle de la spiruline, aussi bien en macro-éléments qu'en oligo-éléments.

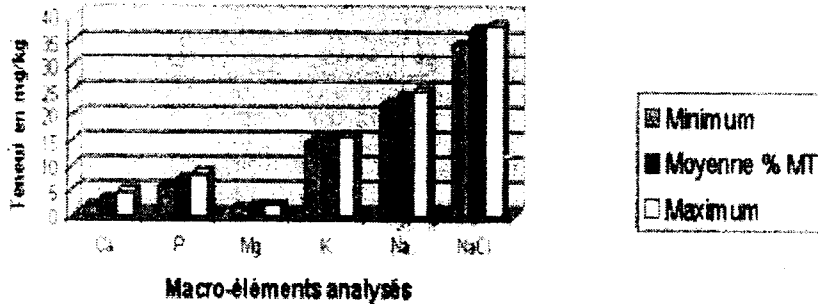


Figure n°4 : Teneur en macro-éléments de la spiruline de Madagascar

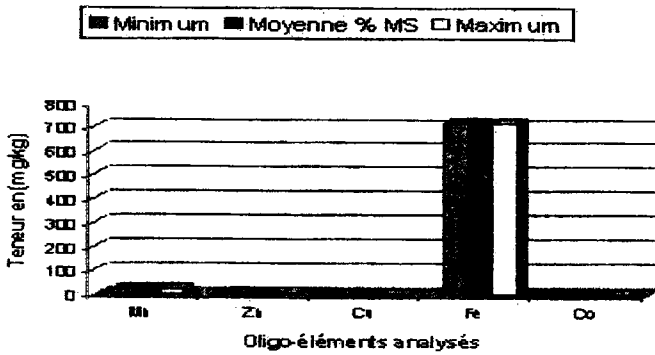


Figure n°4 : Teneur en oligo-éléments de la spiruline de Madagascar

**Tableau n°8 : Teneur en oligo-éléments de la spiruline de Madagascar ( en g/kg de MS)**

	Ca	P	Mg	K	Na	NaCl
Minimum	2,333	6,451	1,916	16,299	24,571	37,709
Moyenne	3,814	8,076	2,205	17,277	25,779	41,357
Maximum	5,249	9,089	2,432	17,943	27,585	42,731
Ecart type	1,295	1,011	0,229	0,718	1,055	1,828
CV	33,9	12,5	10,4	4,2	4,1	4,4

**Tableau n°9 : Teneur en oligo-éléments de la spiruline de Madagascar( en mg/kg de MS)**

	Mn	Zn	Cu	Fe	Co
Minimum	22,504	11,364	1,114	800,245	1,698
Moyenne	23,173	11,364	1,170	800,746	1,712
Maximum	23,841	11,364	1,225	801,248	1,726
Ecart type	0,945	0,000	0,079	0,709	0,020
CV	4,1	0,0	6,7	0,1	1,2

## DISCUSSION

### Composition générale de la biomasse de spiruline de Madagascar

La biomasse fraîche de spiruline est une matière biologique très riche en eau (84,4%). C'est donc une denrée alimentaire très périssable car les risques de dégradation biologique, enzymatique et/ou microbienne sont certains. Elle nécessite donc des techniques de conservation.

Le séchage par déshydratation a éliminé 87,9% de cette eau et récupéré 25,8% de la matière totale c'est-à-dire que le rendement de conservation est de 25,8%. Cette technique, nous a permis de stabiliser et conserver facilement pendant au moins 1 an la biomasse de spiruline. En d'autres termes, la conservation de la spiruline est relativement simple.

Le produit sec obtenu est une biomasse biologique, constituée essentiellement de matières organiques (79,4%). Il est également riche en protéines (en moyenne 59,3%) et en énergie (en moyenne 387 Kcal/100g). La biomasse sèche de spiruline peut donc être classée comme un concentré de nutriments. Notre souche est donc, en ce sens, comparable aux autres souches de spiruline étudiées par CIFFERRI (1983), KAY (1991), DILLON et al., (1995), HENRIKSON (1999) et CYANOTECH (2000).

### **Energies brutes de la spiruline de Madagascar**

L'énergie brute moyenne de la spiruline séchée de Madagascar est de  $397,3 \pm 41,6$  kcal/100g. Ce qui confirme bien ce qui a été dit ci-dessus quant à la richesse de la spiruline en énergie.

A l'instar des autres sources énergétiques,

- elle est comparable à la graine de soja graine sèche (403 kcal), à des biscottes (389 kcal), aux pop corns (386 kcal), au sucre raffiné (385 kcal), au sucre non raffiné (373 kcal), à des pâtes aux œufs (376 kcal), à des pâtes sans œufs (369 kcal), au riz glacé (362 kcal), au lait en poudre écrémé (362 kcal), à la noix de coco fraîche (351 kcal), à la côtelette (341 kcal) ;

- elle **dépasse largement** le café noir sucré (5 Kcal), les pommes douces (58 Kcal), le lait de vache (64 Kcal), le lait maternel (70 Kcal), le jus d'ananas sucré (74 Kcal), les pommes de terre fraîche (76 Kcal /100g), le petit pois frais (84 Kcal), les bananes fraîches (85 Kcal), le vin (90 Kcal), la tripe (99 Kcal), la viande de bœuf séchées salée (203 Kcal), la langue de bœuf (207 Kcal), le whisky scotch (245 Kcal), les eaux de vie (262 Kcal), le fromage camembert (287 Kcal), du fromage fondu (293 Kcal), du cacao (299 Kcal) et le fromage parmesan (393 Kcal);

- **Toutefois, sa valeur énergétique est faible** par rapport à celle du lait entier en poudre (502 Kcal) des chocolats au lait sucré (520 Kcal), du chocolat noir sucré (528 Kcal) des chips ( 568 Kcal), des pistaches (594 Kcal), de la noix de coco séchée (662 Kcal), de la margarine (698 Kcal), de la mayonnaises (718 Kcal), de l' huile de coco (878Kcal), des huiles de tournesol, de soja, de maïs, d'olive, d'arachide et de palme (883 Kcal) et de l'huile de foie de morue (901 Kcal).

### **Fraction protéique de la spiruline de Madagascar**

Du point de vue quantitatif, la teneur en protéine de la spiruline estimée à 59,3 % est exceptionnelle. et son évolution que ce soit dans le temps ou dans l'espace est non significative. Elle est comparable à celles des autres espèces dont la digestibilité évaluée de 83 à 90% a été démontrée très satisfaisante (CLEMENT et al., 1967 ; LEONARD et COMPERE, 1967 ; (BUJARD et al., 1970 ; SANTILLAN, 1974 ; PROTEUS, 1975 ; SAUTIER et TREMOLIERES, 1975 ; VERMOREL et al., 1975 ; FURST, 1978 ; CHALLEM et al., 1981 ; AFAA, 1982 ; ANUSUYA et VENKATARAMAN, 1983 et DILLON et PHAN, 1993).

Elle dépasse toutes les sources de protéines alimentaires connues: levure de bière (38,8%), fromage parmesan (36,0%), lait écrémé en poudre (35,9%), viandes séchées salées (34,3%), soja graine sèche (34,1%), lait entier en poudre (26,4%), thon rouge (23,8%), saumon fumé (21,6%), haricots blanc sec (21,3%), sardine en boîte avec huile (20,6%), tripe (19,0%), fromage camembert (18,7%), langue (16,4%), oie (16,4%), côtelette (15,2%), fromage fondu (14,4%), cervelle (10,4%), lait de vache (3,2%) et lait maternel (1,03%). La spiruline est donc classée dans la catégorie des concentrés protéiques.

Du point de vue qualitatif, les résultats montrent que :

- tous les acides aminés sont présents dans la spiruline et leur fréquence relative par rapport à l'alanine diffère de celle des champignons filamenteux et de l'*Escherichia coli* (LEHNINGER., 1975), ce dernier étant le modèle de laboratoire le mieux connu de notre planète.

- Les acides aminés indispensables sont présents en quantité appréciable, sauf pour le Cys et les acides aminés soufrés (Met et Try) :

- La composition en acides aminés de la protéine de la spiruline révèle une quantité faible d'acides aminés basiques (Lys, His et Arg) ;

- On note également une teneur assez élevée de l'Arginine, un acide aminé utile pour l'élimination de l'urée. La spiruline est donc diurétique ;

Finalement, une proportion très élevée d'Asparagine et Glutamine, c'est-à-dire les formes tamponnées de l'acide Aspartique et l'acide Glutamique, hydrolysables en milieu acide, comme dans l'intestin, est hors du commun. La prédominance de ces deux formes tamponnées est due à l'alcalinité de son milieu de culture et leur intérêt biologique mérite d'être approfondi en perspective d'étude.



Ce spectre d'acides aminés montre que la valeur biologique des protéines de la spiruline est très élevée, et que l'optimum pourrait être atteint par complémentation avec une bonne source d'acides aminés soufrés (méthionine et cystine) de lysine et/ou d'histidine (ANUSUYA et VENKATARAMAN, 1983 ; LEONARD et COMPERE, 1967). Ainsi, d'autres sources de protéines comme les poissons, le pain blanc, l'œuf, la viande, les abats, le soja, le haricot, le pois et les lentilles, ainsi que des céréales comme le riz, le maïs, le blé et le millet, des légumes comme les carottes, les choux fleur, l'épinard, ou certains oléagineux comme le noix de coco ou le sésame devraient être d'excellents compléments.

A travers ces quelques exemples, la diversité biologique de ses acides aminés pourra expliquer certaines vertus thérapeutiques de la spiruline. En effet, la majorité des activités biologiques et biochimiques est catalysée par des enzymes et/ou co-enzymes et le système de défenses biologiques est en premier lieu assuré par les anticorps. Ces trois éléments (enzymes, co-enzymes et anticorps) sont des protéines, c'est-à-dire des molécules à base d'acides aminés. Une administration de spiruline, donc de tous les acides aminés, permettrait donc à un être vivant de formuler toutes les combinaisons possibles de molécules protéiques, dont les enzymes et les systèmes immunitaires. Elle favoriserait ainsi une l'opérationnalité parfaite de toutes les fonctions biologiques d'un être vivant, devenant un système biologique optimisé, robuste, opérationnel et totalement productif.

### Fraction lipidique de la spiruline de Madagascar

Sa teneur en lipide évaluée de 5.6 à 7% du poids sec est comparable à celle des autres espèces (BUJARD et al., 1970 ; CHALLEM et al., 1981 ; DELPEUCH et al., 1975 ; SANTILLAN, 1974). La composition en acides gras de la matière grasse de la spiruline de Madagascar corrobore caractéristiques du groupe systématique de la spiruline suivantes :

- dominance de l'acide palmitique C16 :0
- puis de l'acide gamma linoléique (gamma 18 :3) et linoléique (18 :2)
- et enfin la présence en quantité modeste de l'acide oléique (18 :1), palmitoléique (16 :1) et stéarique (18 :0).

Sa composition se rapproche sensiblement celle de *S. platensis*, mais elle diffère énormément de la fraction lipidique de *S. maxima* et de l'espèce anonyme présentée dans la littérature (PASCAUD, 1993). Toutefois, elle a la spécificité suivante :

- la présence en forte quantité de l'acide alfa linoléique (alfa 18 :3) ;
- la présence de l'acide arachidonique
- l'existence de plusieurs acides gras encore non-identifiés.

L'acide linoléique renforce la défense de l'organisme et la prévention des maladies (HUDSON et KARIS, 1974).

L'acide gamma linoléique est indispensable au bon fonctionnement de notre organisme. Il ne se trouve que dans le lait maternel et la spiruline, Il fait baisser le taux de graisses et de déchets nocifs de façon très appréciable.

Par ailleurs, son rôle a été reconnu comme fondamental pour la régulation des cellules de l'organisme (HUDSON et KARIS, 1974), (HWANG, 1989): il lutte contre le vieillissement et les inflammations, comble rapidement des carences même anciennes, c'est-à-dire particulièrement utile aux personnes âgées et veille à bonne santé de la peau et des cheveux. Cette richesse exceptionnelle confirme davantage la spécificité de notre souche. A ce propos, une étude plus approfondie s'impose.

### **Eléments minéraux de la spiruline**

La spiruline contient environ 9,8% de matière minérale, comparable à celle d'autres espèces (CIFFERRI, 1983 ; KAY, 1991 ; DILLON et al., 1995 ; HENRIKSON, 1999 ; CYANOTECH, 2000), Cette fraction minérale est essentiellement composée comme macroéléments de sodium (23,9 g/kg), potassium (15,5 g/kg), phosphore (7,3 g/kg), calcium (3,4 g/kg) et de magnésium (2,0 g/kg). Les oligo-éléments sont constitués exceptionnellement par le fer (718,3 mg/kg), le manganèse (20,8 mg/kg), le zinc (10,8 mg/kg), le cobalt (1,5 mg/kg) et le cuivre (1,0 mg/kg). De par son écologie, la préparation de spiruline est riche en chlorure de sodium (37,1 g/kg). Cette situation favoriserait sa bonne conservation.

La spiruline contient donc presque la totalité des sels minéraux et des oligo-éléments qui sont indispensables à la croissance et à la vie de tous les organismes vivants: calcium (nervosité), Fer (fatigue), Phosphore (croissance et mémoire), Magnésium (ossature), Cuivre (douleurs), Potassium (douleurs), Manganèse (allergies), Silice (douleurs articulaires), Soufre (allergies, lutte contre le vieillissement des fonctions motrices), Zinc, Sodium, etc.

Concernant particulièrement le fer, il est l'un des principaux oligo-éléments qui constitue le cœur et la molécule d'hémoglobine par laquelle les globules rouges apportent de l'oxygène aux cellules. Il participe à la respiration de l'organisme entier. **Le fer est anti-infectieux et anti-oxydant, il retarde le processus de vieillissement.**

**Or la spiruline contient plus de fer que tout autre aliment:** six fois plus que les céréales complètes et quarante cinq fois plus que les épinards. Non seulement, sa teneur en fer est inégalée, mais surtout ce fer est d'une "bio-disponibilité" extrême. Il est deux ou trois fois plus assimilable que celui contenu dans les légumes ou la viande. En effet, le fer s'y retrouve sous forme chélatée (JOHNSON et SHUBERT, 1986), c'est à dire lié à certains acides aminés qui favorisent son absorption.

## CONCLUSION

**La spiruline** de Madagascar possède les principales caractéristiques nutritionnelles des autres souches de spiruline connues jusqu'à maintenant. Toutefois, elle a aussi sa spécificité.

Elle est à la fois un *aliment énergétique*, grâce à sa teneur en glucides (14 à 24%) et en matières grasses( à 7,22 %), mais *constructeur* grâce à sa teneur en protéines (59,3%) et *protecteur* car riche en vitamines, oligo-éléments, sels minéraux, pigments et divers éléments bioactifs encore méconnus.

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.

Par ailleurs, sa teneur exceptionnelle en protéines et la composition de celle-ci la rendent nettement *plus nourrissant que les principales matières premières pour la fabrication des aliments et des provendes*, telles que le maïs, le riz, le manioc, le soja, le coton, l'arachide 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*.

**BIBLIOGRAPHIE**

1. ANUSUYA D. M. et VENKATARAMAN L. V.- 1983.-  
Supplementary value of the proteins of the blue green algae  
*Spirulina platensis* to rice and wheat proteins, *Nutr. Rep. Internat.*,  
28:1029-1035.
2. ASSOCIATION FRANÇAISE POUR L'ALGOLOGIE  
APPLIQUEE (AFAA).- 1982.- "Actes du premier symposium sur la  
spiruline *Spirulina Platensis* (Gom.) Geitler de l'AFAA".
3. BUCAILLE P.- 1990.- Intérêt 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
4. BUJARD E. U. ; BRACO U. ; MAURON J. ; MOTTU F. ;  
NABHOLZ A. ; WUHRMANN J. J. & CLEMENT .- 1970.-  
Composition and Nutritive Value of Blue Green Algae (*Spirulina*)  
and their Possible Use in Food Formulations, 3rd.international  
Congress of Food Science and Technology, Washington 1970.
5. CHALLEM J.J. ; PASSWATER R.A. ; MINDELL E.M.- 1981.-  
*Spirulina*, Keats Publishing,Inc. New Canaan, Connecticut.
6. CIFERRI O. et TIBONI O.- 1985.- The Biochemistry and  
Industrial Potential of *Spirulina*, *Ann. Rev. Microbiol.* 39, 503-  
526.
7. CIFERRI O.- 1983.- *Spirulina*, the edible microorganism.  
*Microbiol Rev* 47(4): 551-578

8. CLÉMENT G.- GIDDEY C. et MENZI R.- 1967.- Amino Acid Composition and Nutritive Value of the Alga *Spirulina Maxima*, . J. Sci. Fd. Agric. 18, 497-501.
9. CORNET J. F.- 1998.- *Les photobioréacteurs*. Le technoscope de BIOFUTUR, mars 1998, n°176, cahier n° 101.
10. CYANOTECH C.- 2000.- *Spirulina pacifica* ®Typical Analysis, <http://www;cyanotech.com/html/spir/analysis.html>( 14 ctobre 2003)
11. DELPEUCH F. ; JOSEPH A. et CAVELIER C.- 1975.- Consommation alimentaire et apport nutritionnel des algues bleues (*Oscillatoris platensis*) chez quelques populations du Kanem (Tchad)". Ann. Nutr. Aliment. 29, 497-515.
12. DILLON J.C. et PHAN P.A.- 1993, "Spirulina as a source of proteins in human nutrition" Buli. Inst. Océano, Monaco, n°spécial 12, 103-107.
13. DILLON J.C. ; PHUC A.P. ; DUBACQ J.P.- 1995.- ; Nutritional value of the alga *Spirulina*, in SIMOPOULOS A.P. (ed) *Word Rev Nutr Diet 77*: 32-46. Besel: Karger
14. EARTHRISE FARMS SPIRULINA.- 1995.- Product Typical Analysis San Rafael, USA
15. ERIKSSON Lisa.- 2004.- Development of a product strategy for a soy/dairy based yoghurt enriched with the algae *Spirulina* for the Madagascan market.- Department of Food Science.- Swedish University of Agricultural Sciences.

16. FLEURY et HENMET.- 1977.- Culture de champignons filamenteux : traitement de lactosérum par le procédé CALIQUA/SIREB. Colloque « les lactosérums, une richesse alimentaire : Aspects techniques, production de protéine, utilisation animale et alimentaire – APRIA 14/16 Rue Claude Bernard – 75005 Paris
17. FOX R. D..- sans date.- *Pioneer in Production of Spirulina for Combatting Malnutrition*. Disponible sur <http://www.spirulinasource.com>
18. FOX R..- 2002.- Le programme intergouvernemental Spirulina pour réduire la malnutrition, [www.spirulina-program.org/isp-b-FR.htm](http://www.spirulina-program.org/isp-b-FR.htm), consulté le 05 septembre 2005.
19. FOX R.D..- 1999.- Spiruline. Technique pratique et promesse", Edisud, Aix en Provence
20. FOX R.D..- 1996.- Spirulina, production & potential", Edisud, Aix en Provence
21. FOX R.D..- 1986.- Algoculture: la spirulina, un espoir pour le monde de la faim, Edisud, Aix En Povence
22. FURST P.T.- 1978.- Spirulina, *Human Nature*, 1(3), 60-65.
23. HENRIKSON R..- 1999.- Earth food Spirulina: How this remarkable blue-green algae can transform your health and our planet ( th ed). Petaluma: Ronore Entreprise Inc. Disponible sur <http://WWW.spirulinasource.com/earthfood.html> ( 10 octobre 2003)



24. HUDSON B.J.F. & KARIS I. G..- 1974.- The Lipids of the Alga *Spirulina*, *J. Sci. Fd. Agric.* 25, 759-763.
25. HWANG D..- 1989.- Essential fatty acids and immune response, *FASEB J.* 3:2052-2061
26. JOHNSON P. et SHUBERT E.- 1986.- Availability of iron to rats from spirulina, a blue-green algae, *Nutrition Research* 6, 85-94.
27. JORDAN J. P..- 2005 .- Cultivez votre spiruline – Manuel de culture artisanale de la spiruline. Ddisponible sur <http://perso.wanadoo.fr/petites-nouvelles/manuel/index.htm> ou sur <http://www.spirulinasource.com/cultivez.htm>
28. KAY R.A..- 1991.- Microalge as Food and Supplement. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 30(6) page 555 – 573
29. KOZLENKO R..- HENSON R. H..- 1996, Les dernières recherches sur la *Spirulina* : effets sur le virus du SIDA, le cancer et le système immunitaire, [www.spirulina.com/SPLNews96Fr.html](http://www.spirulina.com/SPLNews96Fr.html), consulté le 15 décembre 2004.
30. LEHNINGER A. L..- 1975.- *Biochemistry*, 2ème ed. Worth Publishers, New York, in JAMES E. Baley et DAVID F. OLLIS, 1986, *Biochemical Engineering Fundamentals*, 2nd Edition, McGRAW-Hill International Editions
31. LEONARD J. ET COMPERE P.- 1967.- *Spirulina platensis* (Gom.) Geitler, algue bleue de grande valeur alimentaire par sa richesse en protéines, *Bull. Nat. Plantentuin Belg.* 37 (1),Suppl.23 p.

32. ELISSA.- 1997.- Final report for 1996 activity, Agence Spatiale Européenne, Noordwijk, Hollande. Disponible sur <http://extids.estec.esa.nl/melissa/>
33. MELISSA.- 1996.- Final report for 1995 activity, Agence Spatiale Européenne, Noordwijk, Hollande. Disponible sur <http://extids.estec.esa.nl/melissa/>
34. MIAO J. R.- 1987.- Spirulina in Jiangxi Chin, Academy of Agricultural Science. Presented at Soc. Appl. Algology, Lille France Sep. 1987.
35. PASCAUD M.- 1993.-The essential polyunsaturated fatty acids of spirulina and our immune response, Bull. Inst. Océano, Monaco, n°spécial 12, 49-57 .
36. PROTEUS Inc.- 1975.- Clinical Experimentation With Spirulina, National Institut of Nutrition, Mexico City
37. RAKOTONARIVONDRIANAIVO M. R.- 2002.- Contribution à l'optimisation de culture *in vitro* du genre *Spirulina* (Cyanophycées), Mémoire DEA, Département de Biochimie, Faculté des Sciences, Université Antananarivo, Antananarivo, Madagascar, 85 pages.
38. RAKOTOZANDRINY J. de N.- 2000.- Composition chimique de la spiruline de Madagascar, Résultats non publiés.
39. RAMAMPIHERIKA Kotonirina Daniel.- 1991 à 2005.- Communication personnelle en continu.

40. RAMAROSON C..- 2003.- Influence de l'incorporation de doses faibles de spiruline dans l'alimentation de porcelet sevré âgé de deux mois.- Mémoire de fin d'études.- Département Elevage.- ESSA Antananarivo.- Madagascar.- 30 pages.
41. RASAMOELINA H. V..- 1999.- La *Spirulina* de Madagascar : valeur nutritionnelle, qualité microbiologique et perspective d'avenir, Mémoire de fin d'études, Département IAA, ESSA Antananarivo, Madagascar.
42. RAVAONIRINA S. L..- 2002.- Le maïs grain, le manioc, le son de riz fin, le riz et la spiruline dans le gavage des canards mulards.- Mémoire de fin d'études.- Département Elevage.- ESSA Antananarivo.- Madagascar.- 70 pages.
43. SANTILLAN C.- 1974.- Cultivation of the *Spirulina* for Human Consumption and for Animal Feed". International Congress of Food Science and Technology. Madrid (Spain) September 1974.
44. SAUTIER C. et TREMOLIERES J..- 1975.- Valeur alimentaire des algues spirulines chez l'homme, Ann. Nutr. Aliment. 29, 517-533.
45. SESHADRI C.V..- 1993.- Large scale nutritional supplementation with spirulina alga- All India Coordinated Project on Spirulina. Shri Ann Murugappa Chettiar Research Center (MCRC) Madras, India.

46. VERMOREL M. ; TOULLEC G. ; DUMOND D. et PION R..- 1975.- Valeur énergétique et protéique des algues bleues spirulines supplémentées en acides aminés: utilisation digestive et métabolique par le rat en croissance, Ann. Nutr. Aliment. 29, 535-552
47. WATANABE F.; KATSURA H.; FUJITA T.; ABE K.; TAMURA Y.; NAKATSUKA T.; NAKANO Y..- 1999.- Pseudovitamin B12 is the predominant Cobamide of an algal health food Spirulina tablets. J Agric Food Chem 47:4736-4741
48. WIKIPEDIA.- 2005.- Les cyanobactéries. Disponible sur <http://fr.wikipedia.org/wiki/Cyanobacteria>
49. ZARROUK C..- 1966.- "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".- Thèse de doctorat, Faculté des Sciences de l'Université de Paris, 06/12/1966.