

SOMMAIRE

LISTE DES ABREVIATIONS

LISTE DES FIGURES

LISTE DES PHOTOS

LISTE DES TABLEAUX

GLOSSAIRE

| | |
|--|-----------|
| INTRODUCTION..... | 1 |
| Thème de l'étude..... | 3 |
| I.1.Avant propos : | 3 |
| I.2.Intérêt du thème d'étude : | 3 |
| I.3.Contexte actuel de la culture de spiruline | 3 |
| Chapitre II.Généralités de la spiruline..... | 4 |
| II.1.Historique et origine de la spiruline [3], [5], [14], [15]..... | 4 |
| II.2.Carte d'identité de la spiruline [8], [15]..... | 5 |
| II.3.Composition physico chimique de la spiruline [4]..... | 6 |
| II.4.Qualités microbiologiques de la spiruline [4]..... | 9 |
| II.5.Caractéristiques de la Spiruline [4]..... | 10 |
| II.5.1. Les pigments et leurs propriétés [11]..... | 10 |
| II.5.2. Les chlorophylles et leurs propriétés [11]..... | 12 |
| II.6.Utilisation de la spiruline dans le Monde [1], [5], [6], [9]..... | 13 |
| II.6.1.La spiruline dans l'alimentation humaine..... | 13 |
| II.6.2.La spiruline dans l'alimentation animale | 14 |
| II.6.2.1.Utilisation en aquaculture | 14 |
| II.6.2.2.Utilisation de la spiruline dans l'alimentation des volailles..... | 14 |
| II.6.3.Utilisations thérapeutiques de la spiruline..... | 14 |
| II.6.3.1.Action de la spiruline contre le cancer | 15 |
| II.6.3.2.Action de la spiruline sur le derme : | 16 |
| II.6.4.Purification des eaux usées | 16 |
| II.6.5. Autres utilisations : | 18 |
| Chapitre III. Les conditions nécessaires pour le | |
| développement de la spiruline..... | 19 |
| III.1.Les éléments nutritifs nécessaires à la croissance de la spiruline [11]..... | 19 |

| | |
|--|-----------|
| III.2. Autres conditions nécessaires pour le développement de la spiruline [4], [11].. | 19 |
| III.2.1. Climat | 19 |
| III.2.2. Sols riches en bicarbonate : | 20 |
| III.2.3. Agitation..... | 20 |
| III.3. Conclusion : | 21 |
| Chapitre IV. Généralités sur l'étude physico-chimique des eaux | 22 |
| IV.1. Rappels sur les eaux | 22 |
| IV.1.1. Généralités | 22 |
| IV.1.2. Les composés minéraux | 22 |
| IV.1.3. Les composés organiques..... | 22 |
| IV.2. Description de quelques paramètres de base pour l'eau | 23 |
| IV.2.1. Salinité..... | 23 |
| IV.2.2. Demande Biochimique en Oxygène pendant 5 jours (DBO5)..... | 23 |
| IV.2.3. Demande chimique en oxygène (DCO)..... | 23 |
| IV.2.4. Turbidité..... | 23 |
| IV.2.5. Matières en suspension (M.E.S)..... | 23 |
| IV.2.6. Titre alcalimétrique (TA) et titre alcalimétrique complet (TAC)..... | 23 |
| IV.3. Conclusion de la première partie..... | 24 |
| Chapitre V. Objectifs de l'étude expérimentale | 25 |
| V.1. Introduction..... | 25 |
| V.2. Présentation des objectifs de l'étude expérimentale..... | 25 |
| Chapitre VI. Présentation des sites de la spiruline à Tuléar | 26 |
| VI.1. Résultats des enquêtes..... | 26 |
| VI.1.1. délimitation de la zone d'étude : | 26 |
| VI.1.1.1. Mares de Belalanda [12]..... | 27 |
| VI.1.1.2. Mares d' Ankoronga [11]..... | 29 |
| VI.1.2. Origine des eaux..... | 34 |
| VI.2. Résultats des visites..... | 34 |
| VI.2.1. Observations sur terrain : | 34 |
| VI.2.2. prélèvement des échantillons et mesure sur place de pH et Salinité.... | 38 |
| VI.2.3. Résultats des mesures : | 39 |
| VI.3. Conclusion : | 40 |
| Chapitre VII. Caractérisation effectuée à partir des prélèvements des eaux de mares d'Ankoronga | 42 |

| | |
|---|-----------|
| VII.1.Objectifs : | 42 |
| VII.2.Prélèvements | 42 |
| VII.3.Méthodes d'analyse utilisées : | 42 |
| VII.4. Résultats des analyses | 43 |
| VII.4.1.Pour la station A : | 43 |
| VII.4.2. Pour la station B : | 47 |
| VII.5.Interprétations des résultats : | 49 |
| VII.6.Interprétation des résultats expérimentaux sur le sol..... | 51 |
| VII.7.Etude suivant le bilan ionique..... | 52 |
| VII.7.1.méthode de programmation informatique utilisée : | 52 |
| VII.7.2.Les résultats de l'établissement du bilan ionique des eaux de prélèvements analysés au laboratoire : | 55 |
| VII.7.3.Conclusion : | 56 |
| Chapitre VIII.Propositions des normes sur les caractérisations physico- chimiques des eaux propices au développement de la spiruline. | 57 |
| VIII.1.Introduction..... | 57 |
| VIII.2.Normes : | 57 |
| VIII.2.1.Une température ambiante..... | 57 |
| VIII.2.2.Un éclairage permanent..... | 57 |
| VIII.2.3.Une agitation du milieu..... | 57 |
| VIII.2.4.pH de l'eau..... | 58 |
| VIII.2.5.Des éléments nutritifs essentiels..... | 58 |
| VIII.2.6.Source de gaz carbonique | 58 |
| VIII.2.7.Salinité de l'eau | 58 |
| VIII.2.8.Les compositions ioniques de l'eau : | 58 |
| VIII.2.8.1.Les anions : | 58 |
| VIII.2.8.2.Les cations : | 59 |
| VIII.3.Applications des normes : | 59 |
| VIII.3.1.Pour la création des milieux naturels : | 59 |
| VIII.3.2.Exemple des caractères physico chimiques d'un milieu de la culture d'un bassin en cours de production [15]..... | 61 |
| VIII.3.3.Exemple des caractères chimiques recommandés pour un milieu de culture neuf (pH proche de 8) convenant pour des eaux de dureté nulle ou faible : [15]..... | 62 |

| | |
|---|-----------|
| VIII.4.Conclusion de la deuxième partie:..... | 62 |
| Chapitre IX. Impacts socio-écologique et économique de l'exploitation de la spiruline..... | 62 |
| IX.1.Intérêts de la production de la spiruline..... | 62 |
| IX.2.Impacts d'ordre socio- écologique..... | 62 |
| IX.3.Impacts d'ordre économique | 62 |
| Chapitre X.Spiruline et environnement..... | 64 |
| X.1.Analyse du problème de traitement des eaux usées [15]..... | 64 |
| X.2.Systèmes d'assainissement des eaux usées avec purges [15]..... | 64 |
| X.3.Systèmes d'assainissement des eaux usées sans purges [15]..... | 65 |
| CONCLUSION GENERALE | 66 |
| BIBLIOGRAPHIE | |
| ANNEXES | |
| TABLE DES MATIERES | |

SIGLES ET ABREVIATIONS

A1 : bassin n°1 dans la station A
A7 : bassin n°7 dans la station A
A8 : bassin n°8 dans station A
A9 : bassin n°9 dans la station A
B1 : bassin n°1 dans la station B
B2 : bassin n°2 dans la station B
B3 : bassin n°3 dans la station B
B4 : bassin n°4 dans station B
Bal ion : balance ionique
C : Concentration des cations
C' : Concentration des anions
Ca : Calcium
DCO : Demande Chimique en Oxygène
DBO5 : Demande Biologique en Oxygène pendant 5 jours.
FTM: Foiben-Taontsaritan'i Madagascar
GW: Ground Water software for Windows
meq/l : milliéquivalent par litre
MES : Matières En Suspension
MN : Milieu Naturel
NADP : Nicotinamide Diphosphate
N P : Nappe Phréatique
P : Phosphate
PNUD : Programme des Nations Unies pour le Développement
ppm : partie par million
SGBD : Système de la Gestion des Bases des Données
TA : Titre Alcalimétrique
TAC : Titre Alcalimétrique Complet
UI : Unité Internationale
USA: United States of America
VIH/SIDA : Virus de l'Immuno Déficience Humaine/ Syndrome d'Immuno Déficience Acquise

LISTE DES FIGURES

| | |
|---|----|
| FORME MICROSCOPIQUE DE LA SPIRULINE..... | 4 |
| FORME DE LA SPIRULINE MAXIMA ET PLATENSIS..... | 5 |
| SPECTRE D'ABSORPTION DES PIGMENTS BRUTS EXTRAITS À PARTIR DE SPIRULINE. | 11 |
| CHLOROPHYLLE A ET CHLOROPHYLLE B..... | 12 |
| SCHÉMA DE PRINCIPE DE LA CANCÉROGENÈSE [1]..... | 15 |
| SCHÉMA DE PRINCIPE DE L'ACTION DES ANTIOXYDANTS SUR LES RADICAUX LIBRES [1]..... | 16 |
| SCHÉMA DE PRINCIPE DE LA PURIFICATION DES EAUX USÉES [6]..... | 17 |
| SYSTÈME DE DÉVELOPPEMENT INTÉGRÉ VILLAGEOIS. [9]..... | 18 |
| CARTE DE SITES NATURELS À SPIRULINE DANS LA RÉGION DE TULÉAR [12] | 27 |
| ISOHYÈTES ANNUELLES DE L'EXTRÊME SUD [11]..... | 32 |
| PLASTRON DU DIPSOCHELYS ABRUPTA [11]..... | 32 |
| MORCEAU D'OS ET DE CARAPACES DE DISPOCHELYS GRANDIDIE. [11]..... | 33 |
| DIAGRAMME DES FLUX POUR LA CULTURE DE SPIRULINE.[9]..... | 60 |

LISTE DES PHOTOS

| | |
|--|----|
| PHOTO.1.PHOTO AÉRIENNE DE NOTRE STATION DE PRODUCTION DE SPIRULINE [11]..... | 30 |
| PHOTO.2.COLORATION DES MARES À SPIRULINES AU MOIS DE MARS [11]... | 30 |
| LA SALINITÉ DE L'EAU ATTEINT À 130 ‰..... | 30 |
| PHOTO.3.COLORATION DES MARES À SPIRULINES AU MOIS D'AVRIL.[11]..... | 31 |
| PHOTO.4.COLORATION DES MARES À SPIRULINES AU MOIS DE JUIN [11]..... | 31 |
| PHOTO.5.EVAPORITES DE CARBONATE DE SODIUM OBSERVÉES SUR LE GISEMENT NATUREL DE SPIRULINE [11]..... | 33 |
| PHOTO.6.BOUES NOIRES TRÈS SALÉES OÙ ILS SE TROUVENT SOUS LES EAUX [11]..... | 33 |
| PHOTO.7.BASSIN À SPIRULINE AU COURS DE PRÉPARATION DE CULTURE.... | 35 |
| PHOTO.8.BASSIN À SPIRULINE AU COURS DE PRÉPARATION DE CULTURE.... | 35 |
| PHOTO.9.PRÉPARATION DU BASSIN AVANT LA CULTURE DE SPIRULINE..... | 36 |
| PHOTO.10.PRÉPARATION DU BASSIN AVANT LA CULTURE DE SPIRULINE.... | 36 |
| PHOTO.11.BASSIN SANS SPIRULINE AVEC UNE PRÉSENCE D'UN PEUPLEMENT STROMATOLIQUE..... | 36 |
| PHOTO.12.SPIRULINE PRODUITE ET RECUEILLIE DANS LES 4 BASSINS DE LA STATION A..... | 37 |
| PHOTO.13.4 BASSINS PRÉSENTANT DE LA SPIRULINE..... | 37 |
| PHOTO.14.BASSIN B3 PRÉSENTANT DE SPIRULINE..... | 38 |
| PHOTO.15.PRÉLÈVEMENT DANS UN BASSIN AU COURS DE DÉMARRAGE DE CULTURE..... | 43 |
| PHOTO.16.PRÉLÈVEMENT DANS UNE MARE À MILIEU NATUREL DE SALINITÉ PLUS DE 300 ‰..... | 43 |

| | |
|---|----|
| PHOTO.17.PRÉLÈVEMENT DANS UN BASSIN AU COURS DE PRODUCTION..... | 47 |
| PHOTO.18.PRÉCIPITATION DE CARBONE DU SITE DE CULTURE À ANKORONGA [10]..... | 52 |
| PHOTO.19.BASSIN EN TISSU POLYAMIDE ENDUIT PVC, ECOPARK, MADURAI, TAMIL NADU (INDE), 18 M ² , 1998 | 61 |

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|---|----|
| A.COMPOSITION GÉNÉRALE | 6 |
| B. LES PROTÉINES | 7 |
| C. LES VITAMINES | 8 |
| D.LES SELS MINÉRAUX ET OLIGO- ÉLÉMENTS | 8 |
| E. LES GLUCIDES..... | 9 |
| F.LES ACIDES GRAS..... | 9 |
| G. QUALITÉS MICROBIOLOGIQUES REQUISES DANS LA POUDRE DE SPIRULINE | 10 |
| H.LES PIGMENTS | 10 |
| I.RÉSULTATS DES MESURES DU PH ET DE SALINITÉ DANS LA STATION A... 39 | |
| J.RÉSULTATS DES MESURES DU PH ET DE SALINITÉ DANS LA STATION B.... 40 | |
| K.RÉSULTATS D'EXAMEN PHYSIQUE DES EAUX DE MARES DE LA STATION A | 44 |
| L. RÉSULTATS DES ANALYSES DES ANIONS DES EAUX DE MARES DE LA STATION A..... | 45 |
| M.RÉSULTATS DES ANALYSES DES CATIONS DES EAUX DE MARES DE LA STATION A | 45 |
| N. CONCENTRATIONS DES ESPÈCES CHIMIQUES ALCALINO-TERREUSES ET ALCALINES DES EAUX DE MARES DE LA STATION A..... | 46 |
| O.RÉSULTATS D'EXAMEN PHYSIQUE DES EAUX DE MARES DE LA STATION B | 47 |
| P.RÉSULTATS DES ANALYSES DES ANIONS DES EAUX DE MARES DE LA STATION B..... | 48 |

| | |
|--|----|
| Q.RÉSULTATS DES ANALYSES DES CATIONS DES EAUX DE MARES DE LA STATION B..... | 48 |
| R. CONCENTRATIONS DES ESPÈCES CHIMIQUES ALCALINO-TERREUSES ET ALCALINES DES EAUX DE MARES DE LA STATION B..... | 49 |
| S.RÉSULTATS D'ANALYSE DE LA SALINITÉ DU GISEMENT SUIVANT LA BIBLIOGRAPHIE [12]..... | 51 |
| T.BILAN IONIQUE POUR LA STATION A..... | 56 |
| U.BILAN IONIQUE POUR LA STATION B..... | 56 |
| V.NORMES DES CONCENTRATIONS DES ANIONS POUR LE DÉVELOPPEMENT DE LA SPIRULINE..... | 59 |
| W.NORMES DES CONCENTRATIONS DES CATIONS POUR LE DÉVELOPPEMENT DE LA SPIRULINE..... | 59 |

GLOSSAIRE

Amphiphile : se dit d'une molécule à la fois hydrophobe et hydrophile

Antioxydant : produit qui ralentit ou empêche l'oxydation, la dégradation des aliments, de certains composés organiques ou de certains matériaux.

Biomasse: masse totale de matière présente dans un endroit donné, à un moment donné. Elle est plus souvent exprimée en poids de matière sèche.

Cosmétologie : étude de la fabrication et de l'utilisation des produits cosmétiques.

Ecosystème: l'ensemble des structures relationnelles qui lient les êtres vivants entre eux et à leur environnement inorganique.

Equivalent par litre: unité de concentration d'un ion que l'on calcule par la relation : concentration en mg/l x valence de l'ion / somme des masses atomiques des éléments chimiques présents dans l'ion

Evaporite : dépôt laissé par l'évaporation de l'eau de mers fermées, de lagunes ou de lacs salés.

Halieutique : domaine concernant la pêche

Halomorphe : haute teneur en sels. Sol halomorphe

Hydrique : qui se rapporte à l'eau.

Isohyète : Se dit d'une courbe qui, sur une carte de la Terre, relie tous les points où les pluies moyennes sont égales.

Macro algues : algues visibles à l'œil nu

Micro algues: algues visibles à l'aide d'un microscope

Mutagène : agent susceptible de provoquer des mutations.

Natroné : milieu riche en carbonate de sodium hydraté

Nutriment : corps simple pouvant être assimilé par un organisme, sans qu'il y ait une transformation digestive.

Oligo-élément : élément chimique essentiel, en infime quantité, aux organismes humain, animal et végétal. Le fer, le magnésium, l'iode sont des oligo-éléments.

Photosynthèse : ensemble des processus physiologiques qui permettent aux cellules chlorophylliennes de produire des molécules organiques glucidiques à partir de molécule de gaz carboniques et d'eau sous l'effet de l'énergie lumineuse.

Phytonutriment : substance alimentaire d'origine végétale directement assimilable

Salinité : teneur en sel d'un milieu, [Spécialement] de l'eau de la mer. La salinité de la mer.

Trichome : une cellule de spiruline qui se présente sous forme de filaments constitués de plusieurs sous cellules cylindriques juxtaposées et sans ramification.

Turbidité : état trouble d'un liquide.

introduction

La nouvelle tendance mondiale actuelle se tourne vers la mise en valeur des ressources naturelles, notamment des espèces végétales pouvant présenter des intérêts certains. Les plantes ont des applications multiples, couvrant divers domaines pour ne citer que la médecine, la parfumerie, et la cosmétologie.

La faible pluviométrie, le soleil généreux du sud ouest malgache n'engendre que le « kere » (famine). Effectivement, ce climat sub-désertique est propice à la croissance d'une algue semi microscopique bleu vert : « la spiruline ». Tuléar est riche en lacs naturels de spiruline. En 1994, l'Arthrospira platensis, variété Toliariensis a fait son entrée dans les littératures d'algologie.

La spiruline est l'aliment riche en protéines végétales parfaitement équilibrées et de haute digestibilité. Sa teneur élevée en acides gras essentiels, en oligo-éléments, en vitamines, en phytonutriments fait d'elle l'un des meilleurs compléments alimentaires.

Désireuse d'apporter une solution à ce problème, nous avons choisi de travailler sur *le développement naturel de la spiruline*. Nous avons pris connaissance de l'existence de cette algue à Madagascar en 2006, en dernière année d'études universitaires et depuis nous avons travaillé pour élaborer un programme de valorisation.

Dans la présente étude intitulée « la caractérisation de la physico chimie des eaux de mares des environs de Tuléar favorisant le développement naturel de la spiruline », notre principal objectif est de prendre part au développement et à la vulgarisation de la pratique de la culture de la spiruline dans tout Madagascar par le biais des études physico chimiques de ces eaux. Ce travail a été demandé par Monsieur Jean Yves MORVAN, Directeur de la société « la Saline » de Diégo.

Le présent ouvrage comporte trois grandes parties :

- ❖ La première partie intitulée « études bibliographiques » est axée sur l'historique du genre et de l'espèce étudiée ainsi que les diverses utilisations de la spiruline dans le monde, et ses caractéristiques.
- ❖ La deuxième partie est consacrée aux « études expérimentales » : présentation des sites de la spiruline à Tuléar, résultats des enquêtes sur les recherches antérieures sur les sites de Tuléar, caractérisation effectuée au laboratoire du Génie chimique de l'Ecole Supérieure

Polytechnique d'Antananarivo à partir de prélèvement des eaux de mares de Tuléar, proposition des normes de la caractérisation du milieu naturel pour le développement de la spiruline.

- ❖ Dans la troisième partie intitulée « étude d'impacts de l'exploitation de la spiruline », nous rapporterons les impacts d'ordre socio-écologique et économique d'une vulgarisation de la pratique de culture de spirulines
- ❖ Nous terminons par une conclusion générale donnant un aperçu des résultats obtenus au cours de notre travail.

PREMIERE PARTIE: ETUDES BIBLIOGRAPHIQUES

THÈME DE L'ÉTUDE

I.1. Avant propos :

Dans ce chapitre nous présenterons l'intérêt du thème de notre étude et quelques rappels bibliographiques sur le contexte actuel touchant la spiruline et son milieu.

I.2. Intérêt du thème d'étude :

De nombreuses recherches ont été déjà effectuées sur la spiruline, notamment des essais de production à l'échelle artisanale, et semi industrielle existent [10], [11], [12]. Parmi les recherches, nous n'avons pas pu trouver des données sur l'optimisation d'un développement naturel et en milieu naturel de la spiruline. Ainsi pour le cas particulier de Madagascar, l'originalité du thème de notre étude vient du fait que ce thème n'a pas été auparavant l'objet des recherches sur le plan de développement de la spiruline car il s'agit de l'étude des caractéristiques de l'eau de culture de la spiruline. L'intérêt de notre thème peut être trouvé dans la facilitation ultérieure des applications pratiques d'une forme naturelle d'algoculture dans tout Madagascar, à partir des données sur les eaux de cultures de la spiruline

I.3. Contexte actuel de la culture de spiruline

Actuellement, certains pays Africains et Américains sur l'impulsion de l'OMS et de la FAO, ont de programmes de la culture de la spiruline, dans sa forme naturelle ou artificielle pour pallier la pénurie alimentaire dans ces pays à savoir Mexique, Tchad, Inde, etc. [3], [5], [6].

Pour le cas de Madagascar, à Tuléar, il existe des sites de cultures naturelles et artificielles de spiruline. Malheureusement, cette culture n'est pas encore bien développée.

Chapitre II. GÉNÉRALITÉS DE LA SPIRULINE

II.1. Historique et origine de la spiruline [3], [5], [14], [15]

La spiruline appartient à l'embranchement des cyanophycées, de l'ordre des Nostocales, de la famille des OSCILLATORIACEES, du sous-genre des Oscillatoria, de la section de la spiruline.

La spiruline est une petite algue bleu vert qui pousse dans les eaux chaudes. Elle fait partie des tout premiers végétaux qui soient apparus sur terre, elle a été découverte dans le précambrien du transversal entre 1 milliard et 3 milliards d'années. . Son nom vient de sa forme; elle est constituée de petits filaments en spirale. Cette algue était utilisée par les Aztèques au Mexique, et par certaines tribus du Sahara, à proximité du lac Tchad. Elle était consommée pendant les périodes de sécheresse ou de famine, ou par les femmes enceintes. Au cours du XXème siècle, les Japonais ont étudié la spiruline pour nourrir le peuple pendant la guerre à cause du blocus. Plus largement, son fonctionnement, sa croissance, sa constitution et l'ensemble de ses caractéristiques sont examinés pour mettre au point les meilleures techniques d'algoculture de cette spiruline.

La figure1 ci-dessous qui montre la forme de la spiruline

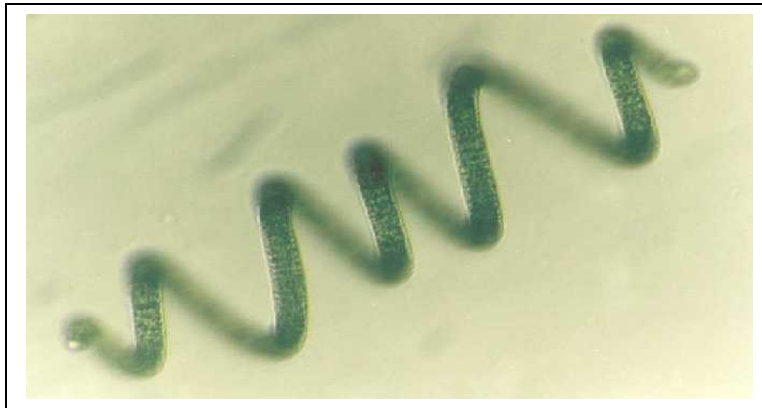


Figure1. Forme microscopique de la spiruline

A Madagascar, la présence de la spiruline a été découverte en 1989. Une étude sur la détermination des espèces présentes est en cours. Dans les zones d'Ankoranga et de Belalanda (région de Toliara), l'algue pousse durant une majeure partie de l'année. Par contre, elle disparaît pendant la période de pluie.

II.2. Carte d'identité de la spiruline [8], [15]

En Septembre 1994, la spiruline de Tuléar a reçu sa carte d'identité, après une mission de reconnaissance conduite par le Docteur Ripley FOX3.

Nom scientifique : *Arthrospira platensis*, variété *Toliariensis*.

Couleur : Bleu - vert

Dimension :

- Diamètre de la cellule : $7,2\mu$
- Longueur de la cellule : $3,8\mu$
- Diamètre des spirales : $21,2\mu$
- Distance entre les spirales : $32,5\mu$

Nom commercial : - Spiruline de Tuléar



Spiruline maxima



spiruline platensis

Figurell. Forme de la spiruline maxima et platensis.

On distingue trois espèces principales de spiruline :

- Spiruline maxima découverte au Mexique
- Spiruline platensis découverte en Afrique
- Spiruline jijibai découverte en Inde

Généralement la spiruline croît à l'état naturel dans des lacs salés et alcalins des régions chaudes de la Terre.

II.3. Composition physico chimique de la spiruline [4]

Nous avons relevé quelques données bibliographiques sur la composition physicochimique de la spiruline de Tuléar. Les tableaux suivants présentent ces données : composition générale, compositions en différentes formes de protéines, de vitamines, de sels minéraux et oligo-éléments, de glucides et de pigments

a. Composition générale

| Désignation | | Pourcentage ou teneur % matière sèche |
|---------------|----------|--|
| Humidité | Moins de | 7% |
| Protéines | Plus de | 55% |
| Glucides | Plus de | 20% |
| Lipides | Moins de | 10% |
| cendres | Moins de | 10% |
| Chlorophylle | Plus de | 1% |
| Métaux lourds | Moins de | 20 ppm |

Les tableaux suivants donnent la composition d'une unité de 10 grammes de spiruline.

b. Les protéines

Acides aminés indispensables :

| Constituants | teneur |
|---------------------|---------------|
| Isoleucine | 350 mg |
| Leucine | 540 mg |
| Lysine | 290 mg |
| Méthionine | 140 mg |
| Phénylalanine | 280 mg |
| Thréonine | 320 mg |
| Tryptophane | 90 mg |
| Valine | 400 mg |
| Alanine | 470 mg |
| Arginine | 430 mg |
| Acide aspartique | 610 mg |
| cystine | 60 mg |
| Acide glutamique | 910 mg |
| Glycine | 320 mg |
| Histidine | 100 mg |
| Proline | 270 mg |
| Sérine | 320 mg |
| Tyrosine | 300 mg |

Les protéines sont les matériaux de construction de la cellule, les briques avec lesquelles le vivant s'élabore. La spiruline contient plus de protéines que tout aliment connu. Les acides aminés indispensables sont des acides aminés que le corps humain ne peut pas synthétiser. Il faut les trouver dans l'alimentation. Une protéine est dite de qualité si un grand nombre d'acides aminés indispensables y est présent, c'est le cas de la « spiruline ».

c. Les vitamines

| Constituants | teneur |
|---------------------------------------|---------------|
| Provitamine A | 23 000 UI |
| Vitamine B ₁ (Thiamine) | 0,31 mg |
| Vitamine B ₂ (Riboflavine) | 0,35 mg |
| Vitamine B ₆ (Pyridoxine) | 80 mg |
| Vitamine B ₁₂ (Cobalamine) | 32 mg |
| Vitamine E (a-tocophérol) | 1 UI |
| Acide panthothénique | 10 UI |
| Biotine | 0,5µg |
| Inositol | 6,4 mg |

d. Les sels minéraux et oligo- éléments

| Constituants | teneur |
|---------------------|---------------|
| Calcium | 100 mg |
| Fer | 15 mg |
| Zinc | 300 µg |
| Phosphore | 90 mg |
| Magnésium | 40 mg |
| Cuivre | 120 µg |
| Sodium | 60mg |
| Potassium | 160mg |
| Manganèse | 500µg |
| Chrome | 28µg |
| Germanium | 6µg |
| Sélénium | 2µg |

e. Les glucides

| Constituants | teneur |
|----------------------------|--------|
| Rhamnose | 9 g |
| Cyclitols | 250mg |
| Glucosamine | 200mg |
| Glucane | 150mg |
| Glycogène | 50mg |
| Acides sialiques et autres | 500mg |

f. Les acides gras

| Constituants | teneur |
|--|--------|
| Acides myristique (C ₁₄) | 1 mg |
| Acide palmitique (C ₁₆) | 244 mg |
| Acide palmitoléique (C _{16 :1}) | 33 mg |
| Acide heptadécanoïque (C ₁₇) | 2 mg |
| Acide stéarique (C ₁₈) | 8 mg |
| Acide oléique (C _{18 :1}) | 12 mg |
| Acide linoléique (C _{18 :2}) | 97 mg |
| Acide gamma- linolénique (C _{18 :3}) | 135 mg |
| Acide alpha- linolénique (C _{18 :3}) | 7 mg |

II.4. Qualités microbiologiques de la spiruline [4]

La poudre de la spiruline destinée à l'alimentation humaine est régie par des normes microbiologiques propres à chaque pays ou à chaque client. Le tableau suivant nous donne juste un aperçu global des qualités requises.

g. Qualités microbiologiques requises dans la poudre de Spiruline

| Désignation | | Pourcentage en teneur |
|-------------------------|----------|-----------------------|
| Moississures et levures | Moins de | 100mg/l |
| Coliformes | Moins de | 3p.p.m |
| Salmonelles | - | 0 |
| Staphylocoques | - | 0 |

II.5. Caractéristiques de la Spiruline [4]

Scientifiquement la spiruline est présentée comme une micro algue presque aussi vieille que la vie sur terre, Elle est à peine visible à l'œil nu, mais colore en vert (vert épinard, ou vert des feuilles de baobab) l'eau dans laquelle elle se développe, vivant de photosynthèse comme les autres plantes.

Le temps entre deux divisions ou temps de génération est de l'ordre de sept heures.

A la différence des bactéries, elle contient de la chlorophylle A et des pigments (phycocyanines, érythrobylènes, caroténoïdes, et xanthophylles).

II.5.1. Les pigments et leurs propriétés [11]

Nous présentons le tableau suivant pour avoir une idée sur la composition d'une unité de 10 grammes de spiruline en pigments.

h. Les pigments

| Constituants | teneur |
|----------------|--------------|
| Phycocyanine | 1500-2000 mg |
| Chlorophylle | 115 mg |
| Caroténoïdes | 37 mg |
| Bêta- carotène | 14 mg |

La Phycocyanine :

La Phycocyanine est spécifique de l'algue bleu vert. On ne la trouve nulle part dans la nature. Elle est apparue un milliard d'années avant la chlorophylle, et peut être considérée comme un précurseur de l'hémoglobine et de la chlorophylle dans la mesure où son noyau renferme à la fois un ion fer et un ion magnésium. Ainsi, la Phycocyanine pourrait représenter l'origine commune du monde végétal et du monde animal.

Les caroténoïdes tout comme les chlorophylles absorbent certaines radiations dites actives pour la photosynthèse, dans la gamme de longueurs d'onde visibles comprises entre 500 et 700nm.

A partir d'une solution de pigments, on peut donc mesurer les caractéristiques d'absorption de la lumière en réalisant un spectre d'absorption à l'aide d'un spectrophotomètre UV visible classique, qui permet de mesurer l'absorption (A) en fonction de la longueur d'onde (I).

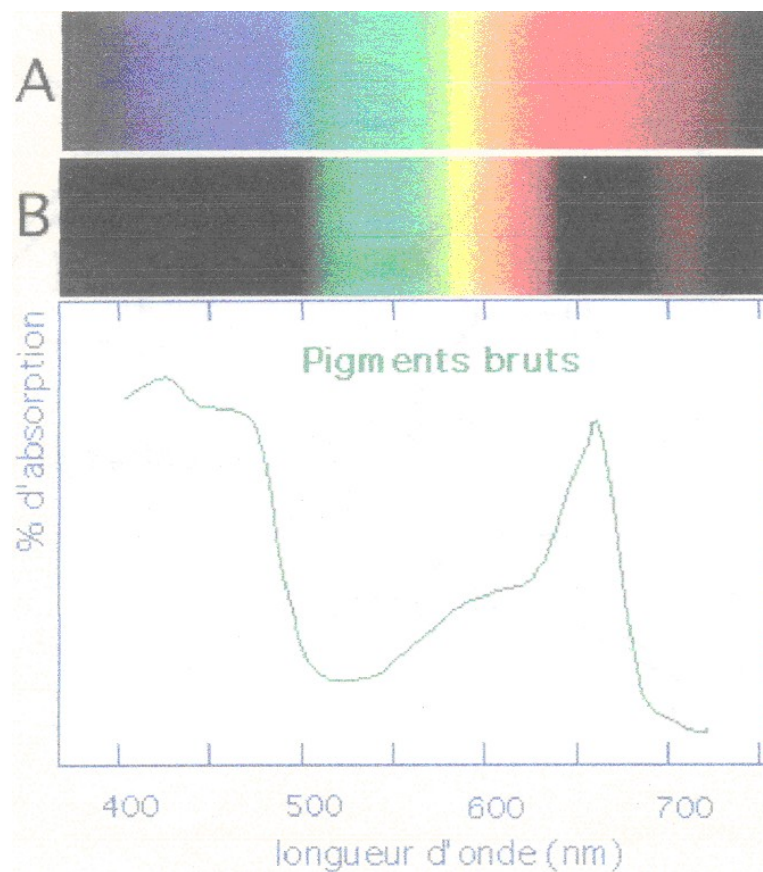


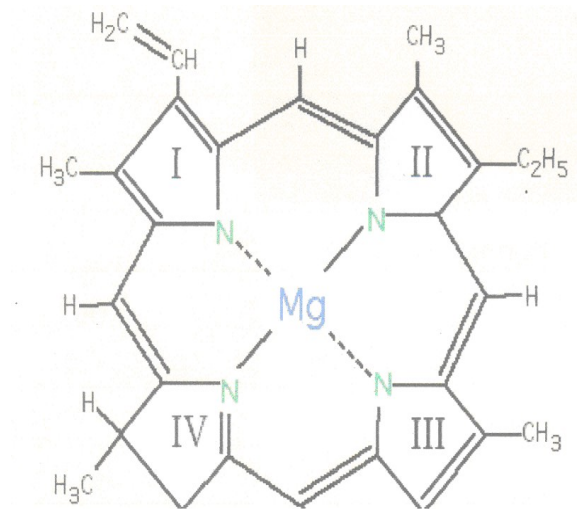
Figure III. Spectre d'absorption des pigments bruts extraits à partir de spiruline.

L'absorption maximale se réalise dans le bleu (< 500nm) et dans le rouge (650- 700nm).

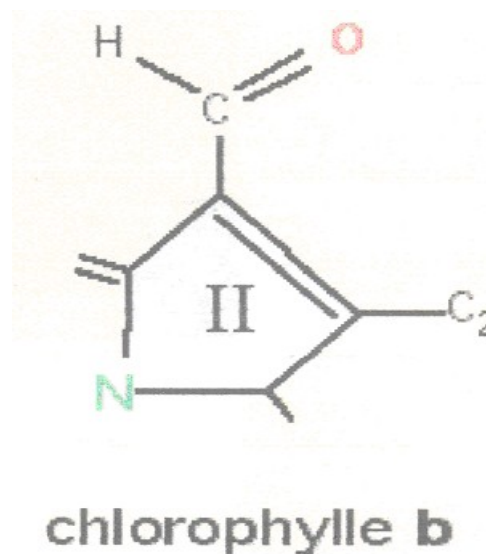
II.5.2. Les chlorophylles et leurs propriétés [11]

Les chlorophylles sont constituées d'un noyau tétrapyrrolique. Les pyrroles I, II, III, et IV sont reliés par des ponts méthényles (-CH-). Chaque pyrrole possède différents substituant : dans le cas de la chlorophylle a, le pyrrole II possède un -CH-, qui est remplacé par un -CHO dans le cas de la chlorophylle b

Chlorophylle a



Chlorophylle b



FigureIV. Chlorophylle a et chlorophylle b

Dans le cas de la chlorophylle b :

- Les atomes d'azotes sont liés à un atome de magnésium par deux liaisons ioniques et deux liaisons de coordination.
- Contre le noyau III se trouve un cycle supplémentaire (V) avec une fonction carboxyle associée. Un noyau IV est estérifié par un alcool à très longue chaîne en C₂₀ : le phytol.
- L'ensemble de la molécule de chlorophylle est amphiphile.
- Dans la membrane des thylacoïdes, les chlorophylles sont associées à des protéines et forment du complexe [protéines –pigments].

II.6. Utilisation de la spiruline dans le Monde [1], [5], [6], [9]

II.6.1. La spiruline dans l'alimentation humaine

Complément alimentaire sans additifs, sans conservateur ni colorant, la *spiruline* convient à tous les âges, du nourrisson au sportif, de l'adolescent à la personne âgée, de l'enfant à la femme enceinte.

Pour les adultes comme pour les enfants, il suffit de quelques grammes de *spiruline* par jour. La *spiruline* joue le rôle de complément alimentaire protéique dans l'alimentation humaine. En effet, elle est très riche en protéine dont la teneur varie de 45% à 70%. Le pourcentage des divers acides aminés est satisfaisant mais il y a un déficit en acides aminés soufrés tels que méthionine et cystine qui doivent être apportés par d'autres sources protéiques. Toutefois, la qualité protéique de la spiruline vient immédiatement après celle du jaune d'œuf adopté comme protéine témoin ou standard par la F.A.O des Nations Unies à Rome.

La spiruline est riche en toutes catégories de vitamines notamment la famille de la vitamine B telle que la vitamine B₁₂. Elle contient aussi de la vitamine A qui est formée à partir de bêta-carotène naturel « cis » produit à partir du soleil.

Au Mexique, le gouvernement a donné en Septembre 1972 une autorisation provisoire, devenue définitive le 16 Mars 1973, sur la consommation de spiruline en tant que complément protéique.

La spiruline est ainsi consommée par les nourrissons en mélange avec les produits amylacés. La dose pour un biberon peut aller jusqu'à 50% de suspension de spiruline. Elle est également consommée chez l'adulte jusqu'à une dose journalière de 15 à 30g par personne. Chez les sujets dénutris, l'utilisation de spiruline à forte dose de 30g à 140g par jour est tolérable. Ils sont nourris à la sonde et aucune intolérance ni troubles gastro-intestinaux ne sont observés.

La production et l'utilisation de la spiruline comme source de protéines permettent de raccourcir au maximum les principales chaînes alimentaires productrices des aliments azotés des

végétaux vers les hommes ou dans le cycle aquatique, des planctons vers les poissons et des poissons vers les hommes en supprimant les étapes et les considérables pertes énergétiques qu'elles impliquent.

II.6.2. La spiruline dans l'alimentation animale

II.6.2.1. Utilisation en aquaculture

De la spiruline séchée et broyée aux ultrasons en fragments de 1 à 10 μ est employée dans la nutrition des mollusques telles que larves de moules ou *mytilus provincialis*; des animaux broyeurs comme les gastéropodes et crustacés et de alevins de poissons. On a observé une accélération de la croissance des animaux soumis à de tel régime. Toutefois, il faut que la spiruline utilisée soit de meilleure qualité microbiologique autrement il y a concurrence entre la flore aérobie revivifiable contenue dans la spiruline et les animaux en élevage. Par ailleurs, un meilleur résultat est obtenu si l'eau de mer est stérilisée et traitée avec des antibiotiques telles que le chloramphénicol de l'ordre de 8 ppm.

II.6.2.2. Utilisation de la spiruline dans l'alimentation des volailles

Les algues spiruline constituent une source de protéine intéressante pour les oiseaux en croissance. Toutefois, elles entraînent un retard de croissance significatif lorsque l'apport alimentaire est supérieur à 6%, c'est-à-dire dans les 20% à 30% de la totalité de la protéine du régime. Ce retard est dû, d'une part, à une sous consommation. En effet, les algues tendent à diminuer l'appétit même lorsque l'apport alimentaire est fiable. Et d'autre part, il est dû à une mauvaise digestibilité qui se traduit par une baisse d'efficacité des protéines et des nutriments énergétiques de l'algue.

Ainsi, l'apport en spiruline dans l'alimentation des volailles ne doit pas excéder 5%. En effet, ces apports suffisent pour fournir des xanthophylles en forte quantité surtout nécessaire dans la coloration de l'œuf.

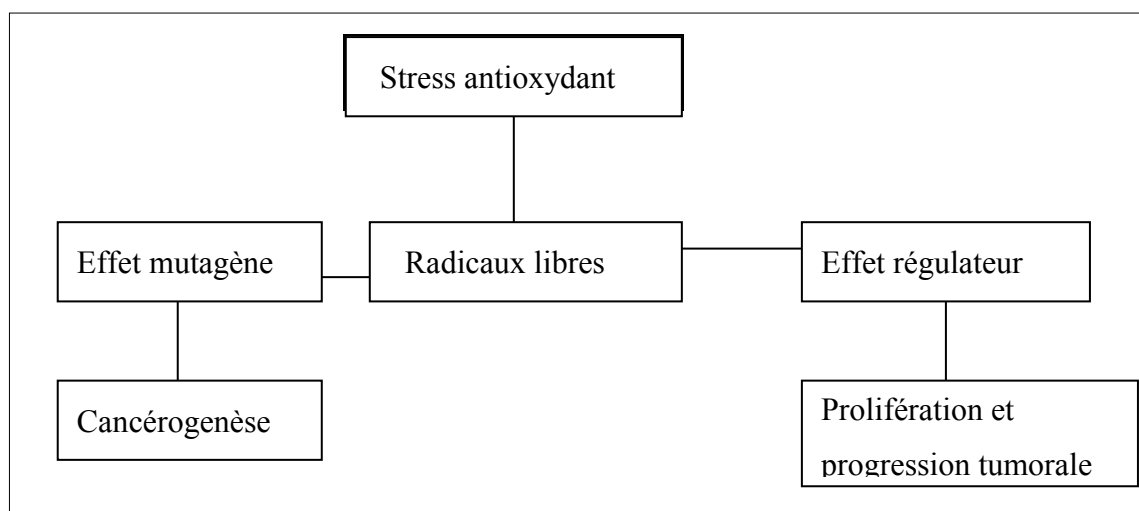
La valorisation de la spiruline comme aliment des animaux est une utilisation non rationnelle de cette ressource car à chaque maillon de la chaîne, il y a des pertes énergétiques considérables. Cette valorisation n'est donc appliquée que pour les déchets de spiruline.

II.6.3. Utilisations thérapeutiques de la spiruline

Nous avons consigné à l'annexe IV, les multiples utilisations thérapeutiques de la spiruline. Mais nous pouvons montrer les actions de la spiruline sur certaines formes de maladies.

II.6.3.1. Action de la spiruline contre le cancer

Le cancer est considéré comme le résultat d'un processus multifactoriel. Il provient de la formation de radicaux libres dérivés de l'oxygène dans l'organisme sous l'influence des différents facteurs tels les ultraviolets et certains composés toxiques contenus dans les aliments. Les radicaux libres peuvent endommager l'ADN, les protéines structurales, les enzymes et les membranes cellulaires de l'organisme. Le schéma ci-dessous présente le principe de la carcinogenèse selon ASTRE en 1993.

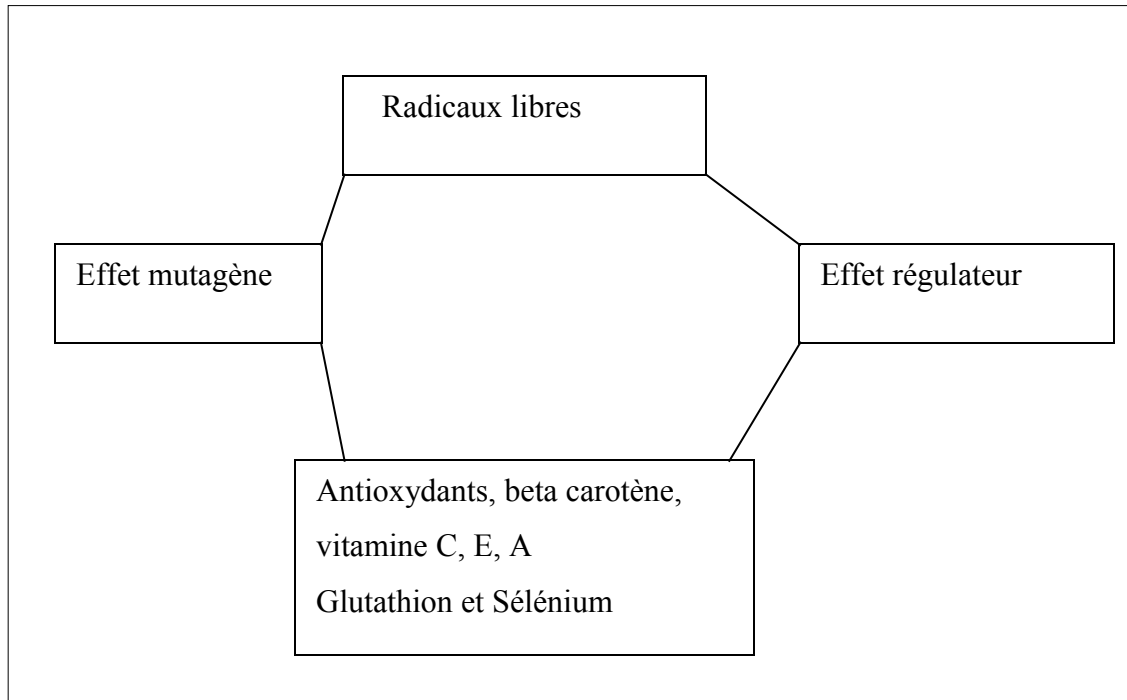


FigureV. Schéma de principe de la cancérogenèse [1]

L'organisme possède des moyens de lutte contre les radicaux libres. Son système de défense est surtout fonction de vitamines antioxydantes, des caroténoïdes et des micronutriments.

Les facteurs antioxydants comme la vitamine E, certains acides aminés, certains flavonoïdes, la vitamine P et les caroténoïdes doivent être apportés par les aliments. Le bêta-carotène qui est transformé dans le foie en vitamine A, est l'un des principaux caroténoïdes impliqués dans le système de défense contre les radicaux libres. Il doit être apporté par les aliments parce qu'il n'est pas synthétisé par le corps humain. Il existe dans la nature sous deux formes : la forme « cis » et la forme « trans ». Il est en quantité très importante dans la spiruline. D'après des études scientifiques, le bêta-carotène ayant les deux formes « cis » et « trans » présentes dans la spiruline sont beaucoup plus efficaces contre le cancer que le bêta-carotène synthétique.

Selon toujours ASTRE en 1993, le principe de l'action des radicaux libres et des antioxydants est résumé comme suit :



FigureVI. Schéma de principe de l'action des antioxydants sur les radicaux libres [1]

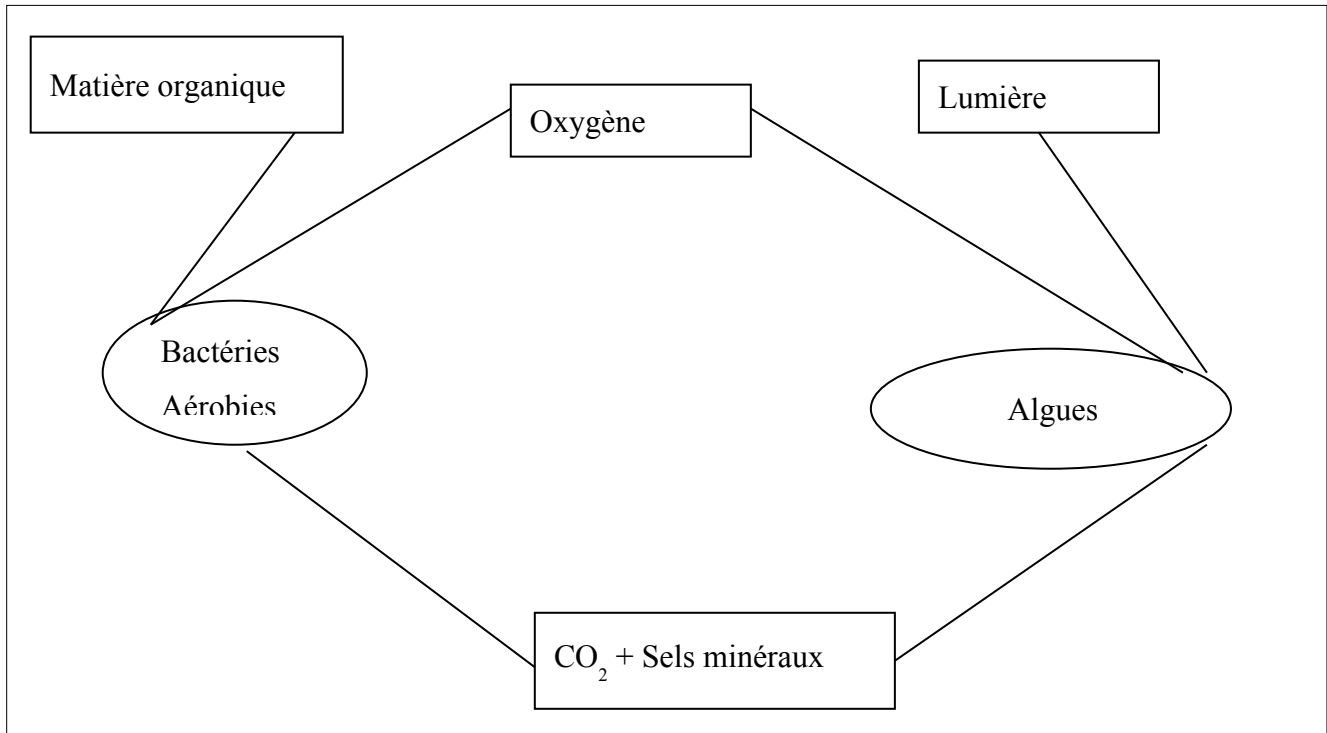
II.6.3.2. Action de la spiruline sur le derme :

Selon [3], les acides gras poly-insaturés de la spiruline ont une action thérapeutique importante sur le derme. Ils atténuent certains phénomènes inflammatoires, particulièrement après des brûlures. La spiruline permet à la peau de mieux résister et à avoir une cicatrisation meilleure et beaucoup plus accélérée. Ce qui offre à la spiruline de grandes promesses dans l'industrie cosmétique dans un but de produire des crèmes des masques, des shampoings et des bronzants.

A Madagascar, les populations riveraines de la mare utilisent les spirulines comme shampoing. Et elles trouvent que leurs cheveux ont un aspect beaucoup plus brillant de lavage.

II.6.4. Purification des eaux usées

La purification des eaux usées se déroule selon le principe avancé par COSSON en 1976 schématisée comme suit :

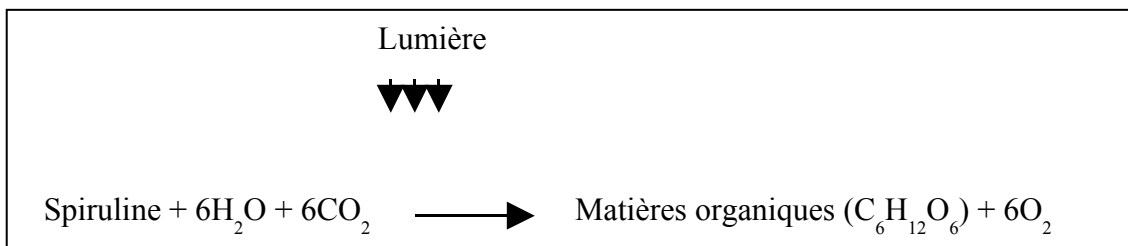


FigureVII. Schéma de principe de la purification des eaux usées [6]

Les rôles écologiques de la spiruline lors du traitement préliminaire des eaux usées sont multiples :

- Elimination du gaz carbonique atmosphérique et utilisation du gaz carbonique produit par les bactéries aérobioses en vue de la production d'oxygène pendant la photosynthèse. Ce qui a pour conséquence la réduction de la quantité de gaz carbonique émis dans l'atmosphérique.

- Production de biomasse par l'utilisation toujours du gaz carbonique et des sels minéraux du milieu en présence de la lumière c'est-à-dire lors de la photosynthèse, selon la réaction chimique suivante :



Le seul facteur limitant dans l'utilisation de la spiruline dans le traitement préliminaire des eaux est qu'elle a exigence spécifique en ce qui concerne les conditions du milieu.

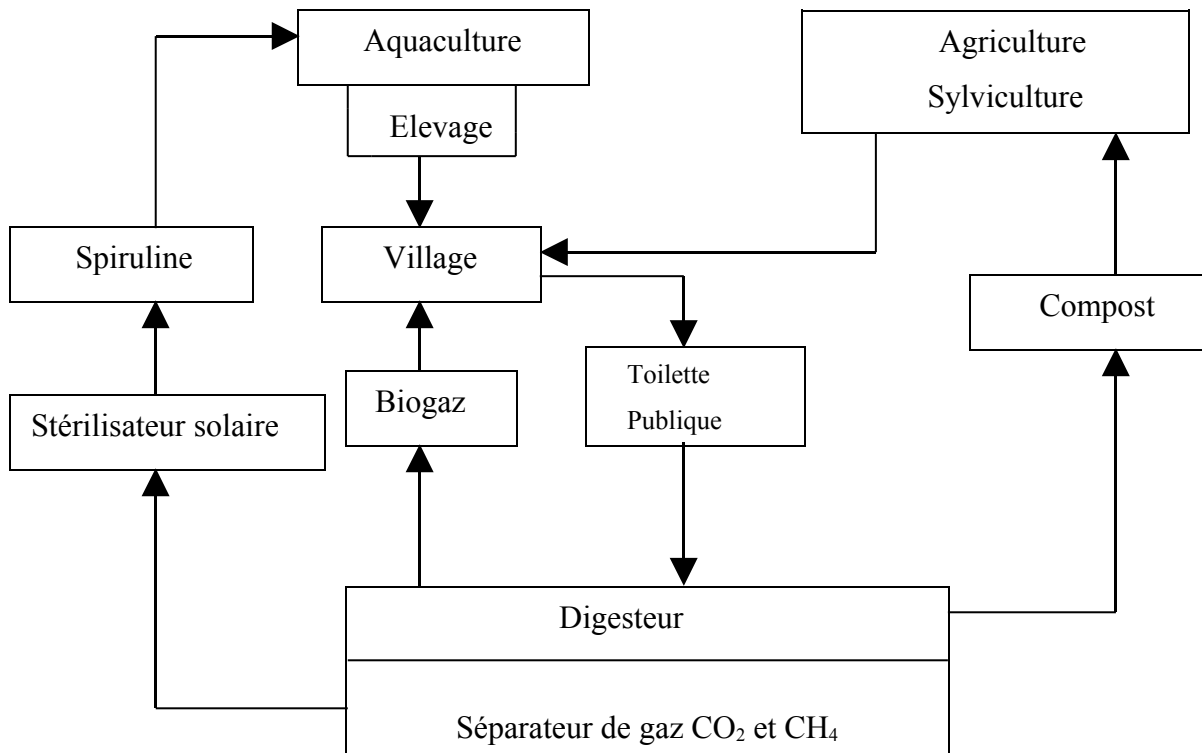
II.6.5. Autres utilisations :

La spiruline possède de nombreuses propriétés fonctionnelles. Grâce à son pouvoir épaississant, stabilisant, émulsionnant, réducteur de cristaux, etc., elle a son utilisation dans les industries agricoles alimentaires et dans les cimenteries.

Aux USA, la spiruline est utilisée comme un aliment naturel de survie par excellence bien qu'il y existe des concentrés protéiques artificiels plus riches.

En RFA, la spiruline est transformée en comprimés coupe-faim. En effet, elle présente une faible teneur en lipides ainsi elle n'a que des faibles calories. Par conséquent l'énergie fournie par la spiruline se trouve à la dose minimale. Toutefois, elle fournit tous les éléments nécessaires pour la nutrition.

En considérant les avantages obtenus de la culture de spiruline et surtout de son utilisation en tant que complément protéique dans l'alimentation humaine et animale, la figure suivante présente une proposition de développement intégré des villages des pays tropicaux et subtropicaux en voie de développement.



FigureVIII. Système de développement intégré villageois. [9]

Chapitre III. **LES CONDITIONS NÉCESSAIRES POUR LE DÉVELOPPEMENT DE LA SPIRULINE**

III.1. Les éléments nutritifs nécessaires à la croissance de la spiruline [11]

D'après la bibliographie consultée, les éléments nécessaires à la croissance des spirulines sont : le carbone, l'azote, l'oxygène, le potassium, l'hydrogène, le phosphore, le fer, le bore et le manganèse.

Nous présentons brièvement le rôle de quelques uns de ces éléments nutritifs.

- **Le potassium et le sodium** (activateurs d'enzymes) interviennent dans la régulation de la pression osmotique. Un mécanisme de pompe ionique, consommateur d'énergie, maintient la concentration du potassium dans la cellule plus élevée que celle du sodium. La carence en potassium entraîne l'allongement des filaments.
- **Le phosphore** est un composant de la molécule de NADP et un accepteur d'énergie dans la photosynthèse. La carence en phosphate et en soufre provoque l'élargissement du diamètre des spires et l'allongement des individus.
- **Le magnésium** entre dans la composition de la chlorophylle.
- **Le fer** constitue les pigments protéiniques appelés cytochromes qui transfèrent les électrons dans la chaîne photosynthétique et favorise la synthèse des molécules organiques.
- **Le calcium** intervient dans la synthèse des protéines à partir des nitrates. Le manque de calcium donne une tendance au gigantisme.
- **L'azote** est le constituant important des acides aminés et il convient donc d'enrichir les bassins en cet élément.

III.2. Autres conditions nécessaires pour le développement de la spiruline [4], [11]

III.2.1. Climat

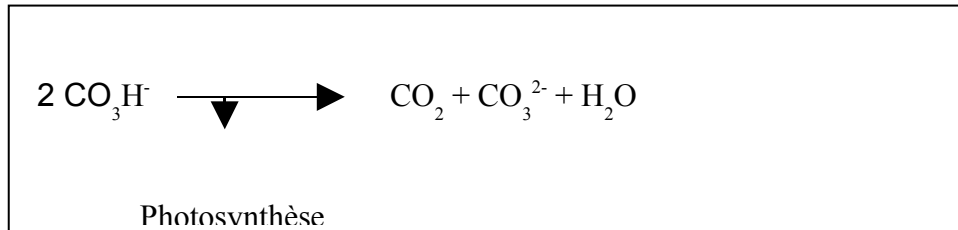
Toujours selon nos recherches bibliographiques, Les spirulines se développent dans les régions chaudes et ensoleillées telles que les régions tropicales et subtropicales. La zone tropicale est comprise dans les latitudes plus ou moins 23°27'37''.

Le climat tropical est caractérisé par une température moyenne annuelle supérieure ou égale à 22°C et une température moyenne du mois le plus froid supérieure à 18°C.

III.2.2.Sols riches en bicarbonate :

Les spirulines croissent spontanément dans les milieux contenant de sol riche en bicarbonate, en effet les sels bicarbonatés constituent une source de CO_2 nécessaire pour la photosynthèse

- Le procédé d'assimilation du carbone se présente comme suit



III.2.3. Agitation

Selon la bibliographie, le vent peut créer des courants de convection et le mouvement de brassage de l'eau, favorisant l'exposition des algues à la lumière. Il élimine le voile planctonique vers le rivage. Les mouvements de la spiruline sont limités de mouvements horizontaux et de mouvements verticaux.

❖ *Mouvements horizontaux :*

La spiruline appartient à la famille des Oscillatoriacées, ce qui signifie qu'elle oscille ou bouge d'arrière en avant. Ceci est dû aux fibrias, qui sont des filaments tubulaires de 5 à 7 nanomètres de diamètre et 1 à 2 microns de longueur, ils sortent des pores extrêmement petits situés sur le pourtour des extrémités des cellules là, elles se joignent pour former un filament . Ces fibrias, comme des rameurs sur une galère, propulsent le filament d'arrière en avant. Le « nerf » ou la protéine qui agit le filament dans sa longueur, et lui donne l'ordre de ramer d'arrière en avant, n'a pas encore été découvert.

❖ *Mouvements verticaux :*

La spiruline peut également fabriquer de minuscules cylindres de gaz (appelés **Vésicules de gaz**) qui sont d'environ 70 nanomètres de diamètre et faits d'une chaîne de protéines tissées. Ces cylindres de gaz sont formés et remplis avec le gaz quand le filament de spiruline veut s'élever dans la colonne d'eau pour recevoir la lumière du soleil.

Ces deux méthodes de locomotion permettent à la spiruline de se protéger elle-même contre une overdose mortelle de soleil. Dans un même temps, elle absorbe la juste quantité de lumière dont elle a besoin, circulant de haut en bas dans la colonne d'eau.

III.3. Conclusion :

Nous avons présenté les données bibliographiques décrivant les conditions nécessaires au développement naturel de spiruline. Malheureusement, nous n'avons pu trouver que peu d'indications lors de notre recherche bibliographique sur les caractéristiques physico chimiques du milieu naturel de ce développement qui est l'eau. Nous allons alors aborder dans le chapitre suivant, une étude bibliographique sur la physico chimie des eaux dans le cas général.

Chapitre IV. **GÉNÉRALITÉS SUR L'ÉTUDE PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX**

IV.1. Rappels sur les eaux

IV.1.1. Généralités

L'eau est la substance minérale la plus répandue à la surface du globe et aussi le constituant majeur de la matière vivante [2]. Elle constitue le milieu naturel de développement de la spiruline. L'eau est une ressource aussi précieuse que vitale. Bien qu'elle puisse avoir une apparence claire et limpide et n'avoir aucune odeur ou saveur particulière, l'eau captée peut contenir des éléments pouvant avoir des effets indésirables sur la santé, par exemple des micro-organismes pathogènes (bactéries, virus ou protozoaires) [2] ; [13]; [7].

—

L'eau est constituée par des composés minéraux et organiques.

IV.1.2. Les composés minéraux

Les composés minéraux présents dans les eaux naturelles, trouvent essentiellement leur origine dans les échanges qui se produisent entre l'eau et le sol, entre l'eau et l'atmosphère. Ils résultent aussi du métabolisme des éléments constitutifs de la biomasse aquatique.

Les composés minéraux présents dans les eaux sont : les gaz dissous (O_2 , N_2 et CO_2) et les électrolytes fondamentaux (H_2CO_3 , HCO_3^- , CO_3^{2-} , Ca^{2+} , OH^- et H^+) et les électrolytes caractéristiques (Mg^{2+} , Fe^{2+} , Cl^- , etc.).

IV.1.3. Les composés organiques

Les matières organiques naturellement présentes dans les eaux comme d'ailleurs dans les sols, sont formées par un mélange complexe de produits végétaux ou animaux à des stades de décomposition variés. Elles comprennent également des produits de synthèses par voies chimiques ou biochimiques, élaborés à partir des éléments. Elles comprennent enfin des micro-organismes (bactéries, virus, etc.) et leurs produits de décomposition.

IV.2. Description de quelques paramètres de base pour l'eau

IV.2.1.Salinité

La salinité totale d'une eau correspond au total des cations et des anions présents (exprimé en milligramme par litre) ou ‰ (en poids).

IV.2.2.Demande Biochimique en Oxygène pendant 5 jours (DBO₅)

La DBO₅ mesure l'effet des transformations biochimiques, relatives à la plus grande partie des composés carbonés et qui ne prennent pas compte de la nitrification. On l'exprime en mg/l d'oxygène consommé.

IV.2.3.Demande chimique en oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène représente la quantité d'oxygène consommée, dans les conditions de l'essai, par les matières oxydables contenues dans un litre d'eau analysée. Elle est exprimée en milligramme par litre.

IV.2.4.Turbidité

La turbidité donne une première indication sur la teneur en matières colloïdales d'origine minérale ou organique. Elle est en relation avec la mesure des matières en suspension.

IV.2.5.Matières en suspension (M.E.S)

Ce paramètre englobe tous les éléments en suspension dans l'eau dont la taille permet leur rétention sur un filtre de porosité donné.

IV.2.6.Titre alcalimétrique (TA) et titre alcalimétrique complet (TAC)

Les valeurs relatives du TA et du TAC permettent de connaître les teneurs en hydroxydes, carbonates ou hydrogénocarbonates alcalins ou alcalino-terreux et alcalins.

Remarque :

Nous présentons en ANNEXE III la technique de détermination de ces paramètres au laboratoire d'analyse.

IV.3. Conclusion de la première partie

En résumé, la spiruline a de multiples utilisations. Elle peut servir de complément protéique dans l'alimentation humaine et animale. Les différentes propriétés qu'elle possède permettent son utilisation dans les différentes industries telles que pharmaceutiques, cosmétiques, agricoles et alimentaires, de l'énergie...

Elle renferme : l'acide aminés, acides gras, enzymes, glucides, lipides, oligo-éléments, sels minéraux, vitamines et pigments.

Les composés minéraux présents dans les eaux sont : les gaz dissous, les électrolytes fondamentaux, et les électrolytes caractéristiques. Les composés organiques présents sont formés par un mélange complexe de produits végétaux ou animaux à des stades de décomposition variés.

DEUXIEME PARTIE: ETUDES EXPERIMENTALES

Chapitre V. OBJECTIFS DE L'ÉTUDE EXPÉRIMENTALE

V.1. Introduction

La première partie de notre ouvrage nous a permis d'avoir quelques données intéressantes sur les caractéristiques du développement naturel de la spiruline. Ce qui va nous permettre d'aborder à la caractérisation physico chimique des eaux qui constituent le milieu naturel de développement de la spiruline.

Il y a beaucoup d'études de recherche sur la spiruline de Tuléar. Malheureusement nous n'avons pas pu trouver des données sur la physico chimique des eaux naturelles de culture de spiruline.

V.2. Présentation des objectifs de l'étude expérimentale

Dans cette étude expérimentale nous cherchons atteindre les objectifs suivants :

1^{er} objectif :

Nous chercherons à suppléer l'insuffisance et même l'inexistence des données physico chimiques des eaux de mares de Tuléar. Pour cela nous procéderons une analyse quantitative et qualitative aussi systématique et complète que possible des prélèvements d'échantillons des eaux de mares de Tuléar.

2^{ème} objectif :

A partir des données expérimentales que nous avons obtenues, nous procéderons à une analyse et des interprétations dans le but précis de formuler des normes sur la physico chimie des milieux naturels d'un développement optimal de la spiruline.

Dans ce but, nous avons adopté le plan de l'étude expérimentale suivant :

- Présentation des sites de la spiruline à Tuléar
- Résultats des recherches antérieures sur les sites de Tuléar
- Caractérisation effectuée à partir de prélèvement des eaux de mares de Tuléar
- Proposition des normes de la caractérisation du milieu naturel pour le développement de la spiruline.

Chapitre VI. **PRÉSENTATION DES SITES DE LA SPIRULINE À TULÉAR**

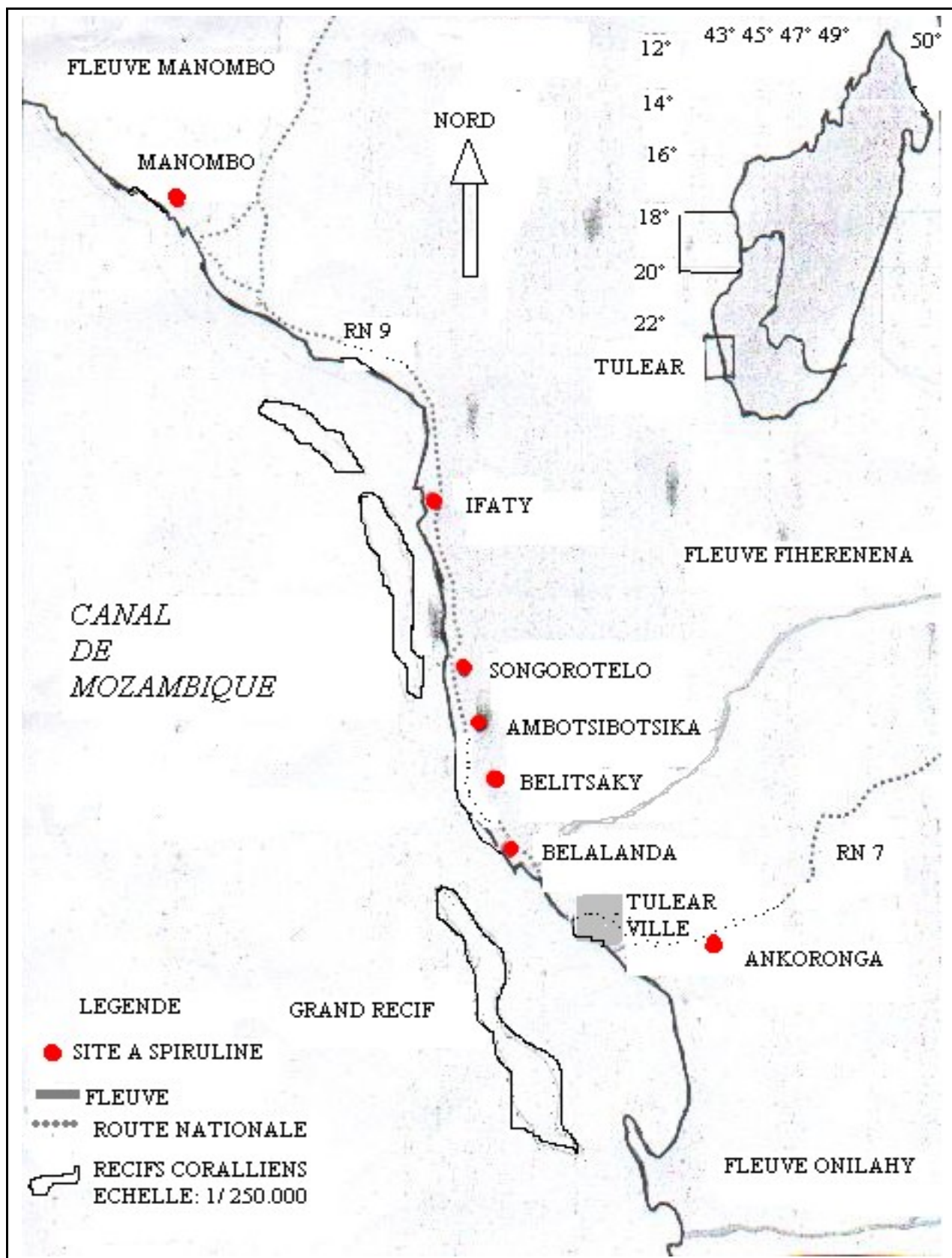
Nous avons fait une descente sur terrain pour effectuer des enquêtes, une visite des mares, de prélèvement des échantillons des mares pendant une semaine.

VI.1. Résultats des enquêtes

Nous avons effectué des enquêtes auprès des enseignants de l'Institut Halieutique des Sciences Marine de l'Université de Tuléar et qui sont experts sur les questions traitant la spiruline. Les résultats de ces enquêtes sont :

VI.1.1.délimitation de la zone d'étude :

Dans la région de Tuléar, le long de la zone côtière comme illustre la figure IX page 27; il y a plusieurs sites des mares à savoir : Manombo, Ifaty, Songerotelo, Ambotsibotsika, Belitsaky, Belalanda, Ankoronga. Nous nous sommes intéressés plus spécialement aux sites des mares de Belalanda et Ankoronga, car ces derniers sont proches de la ville de Tuléar.



FigureIX. Carte de sites naturels à spiruline dans la région de Tuléar [12]

VI.1.1.1. Mares de Belalanda [12]

Le village de Belalanda est situé au sud-ouest de Madagascar, et se trouve à 7km environ au Nord de la ville de Toliara. C'est une commune rurale de superficie de 12560 hectares et de 5,474 d'habitants (commune Belalanda, 1998). Du point de vue géographique, elle se trouve à 23° 17' latitudes sud et 43° 38' longitudes Est.

Belalanda repose sur une plaine vaste côtière recouverte par des dunes de sables roux, où pousse une végétation typique caractéristique du sud ouest malgache : « La fourrée ». Elle était auparavant le siège d'installation de *l'Ipomea pès - caprae* ou Lalanda ; la première végétation fixatrice des dunes, et il l'en porte ce nom : « Belalanda ». Elle est délimitée au nord par le village d'Amboaboake » à l'ouest par la baie de « Ranobe », au sud par le fleuve de « Fiherenana », enfin à l'est par le village de « Tsinjoriake »

Au nord du village, vers 500 mètres, des dépressions géographiques de la pleine littorale entre les dunes forment de plusieurs types de plan d'eau où s'effectue exactement l'étude. La population locale nomme cet endroit en « Sarako », qui veut dire en dialecte « Vezo » mon lieu de repos « Sarana + ko ». Elles sont constituées par, l'ouest vers l'est, dont la salinité doit être diminuée au fur et à mesure que l'on s'éloigne la mer [12]: deux marais salants, hyper salés et producteurs naturels du sel bicarbonate (M1) au Nord et (M2) au Sud.

Les marais salants qui se trouvent autours des lagunes ou derrières des côtières sont alimentés par des nappes souterraines salées [12].

Deux grands lacs :

- **Lac A** : un lac salé à l'ouest, de couleur bleu-vert, due d'une part à la réfraction de la teinte bleue de la radiation solaire sous l'action des cristaux de sel de l'eau du lac, et d'autre part par sa richesse en phytoplancton, surtout la spiruline. D'après les enquêtes ce lac contient depuis des années des algues bleu spiruline. Nous le désignerons station A

Cette station A est constituée par le premier lac A à l'ouest. Ce lac s'étend sur 504,9m de long et 148.5m de large et s'ouvre sur une superficie de 7 hectares 225 ares, dont le 1 hectares 89 ares sont recouverts des Cypéracées : *Cyperus flabelliformis* et le reste, 5 hectares 365 ares, constituent la surface des eaux libres.

En multipliant la profondeur moyenne de l'eau et la surface qu'elle occupe, on aura 2 644 447,5m³ le volume d'eau du lac A.

- **Lac B** : un lac saumâtre à l'Est, limpide. Il constitue la station B.

Cette station B est représentée par le second lac B à l'est. Elle mesure 178,2m de large et de 380.5m de long qui donne une surface de 6 hectares 260 ares, dont le dixième de cette superficie est occupé par des *Typha angustifolia*, et de profondeur moyenne de 24,46m. Donc le volume d'eau du lac atteint 1 530 570 m³

Nous notons que les deux stations A et B séparent l'une de l'autre environ de 107m. Dans ce site de Belalanda, on a créé aussi deux autres stations C et D.

- **La station C**

La station C est située à 10,9m de la station B. Elle est représentée par un ancien abreuvoir d'eau des bestiaux. Son diamètre mesure 1,52 m et à une profondeur moyenne de 32cm, qui nous donnent un volume d'eau de 0,764m³.

- **La station D**

Cette station est aussi un abreuvoir d'eau des bestiaux. Elle se situe à 43,96m de la station A. Son diamètre mesure 2,84m et sa profondeur moyenne est de 50,24cm, donnent un volume d'eau de 140 ,67m³.

VI.1.1.2.Mares d' Ankongra [11]

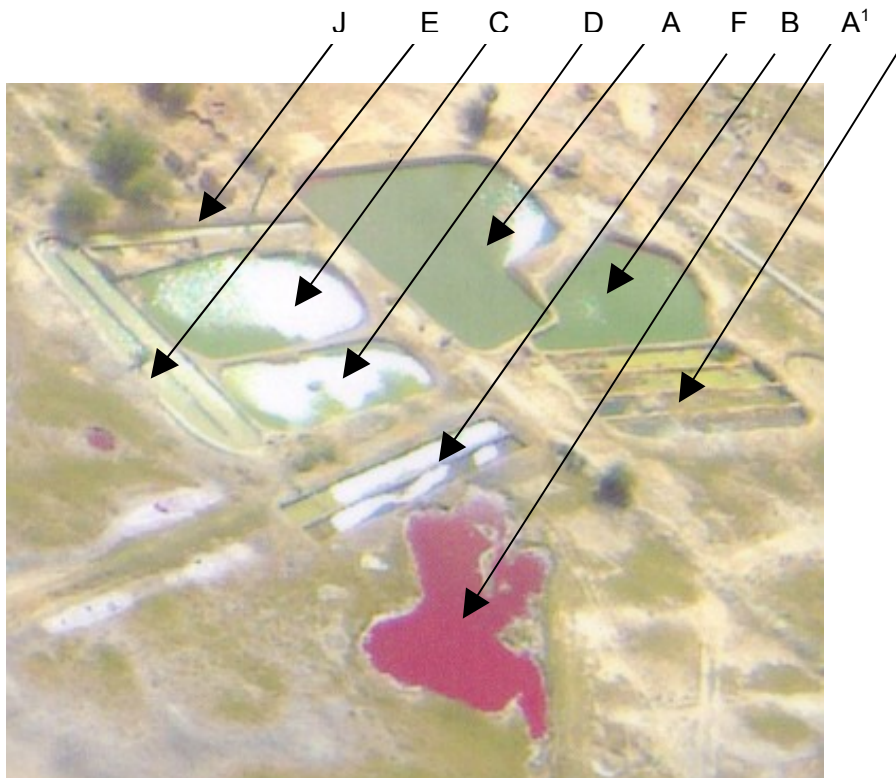
Ankongra est situé à 12 Km à l'est de la ville de Tuléar vers la route nationale N°7 qui mène à Antananarivo.

Notre station de recherche et de production de spirulines localisée dans cette zone comporte une dizaine de bassins de superficie unitaire entre 300m² et 1500 m². Selon les renseignements recueillis une variation de la concentration en spiruline comprise entre de valeur de l'ordre de 5 g/m²/j en hiver et de valeur de 8g/m²/j au printemps et en été est observée habituellement

En effet, étant donné que la spiruline flotte à la surface des eaux et qu'elles sont poussées par le vent sur le bord du lac où elles s'accumulent Il existe de ce fait un gradient de concentration assez important dans les eaux aussi bien horizontalement que verticalement.

Le bicarbonate de sodium se trouve non seulement en solution dans les eaux mais aussi sous forme solide au fond et à la surface de mares ainsi qu'en incrustation dans le sol alentour, soit en aiguilles.

La photo ci-après représente les bassins naturels de production de la spiruline à Ankongra Tuléar :



Bassins n° :

A=1500 m²

B=500m²

C=1000m²

D=500m²

E=300m²

F=300m²

I=500m²

J=300m²

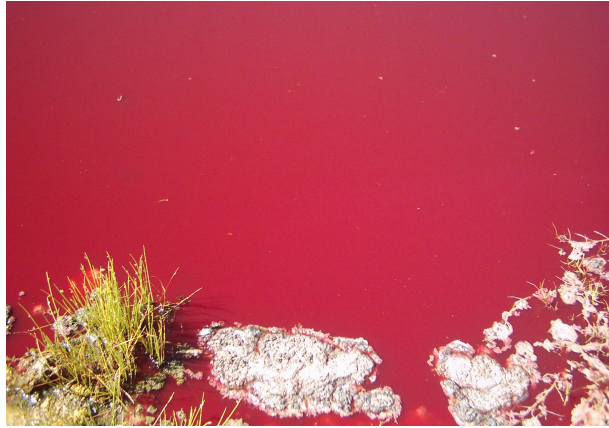
A¹=1000 m²

Photo.1. Photo aérienne de notre station de production de spiruline [11]

Au cours de l'année, à travers les photos suivantes nous pouvons observer un phénomène naturel particulier de coloration des eaux de mares. :



*Photo.2. Coloration des mares à spirulines au mois de mars [11]
La salinité de l'eau atteint à 130 ‰*



*Photo.3. Coloration des mares à spirulines au mois d'Avril.[11]
La salinité de l'eau atteint 150‰ et le pH du milieu est égal à 10.*

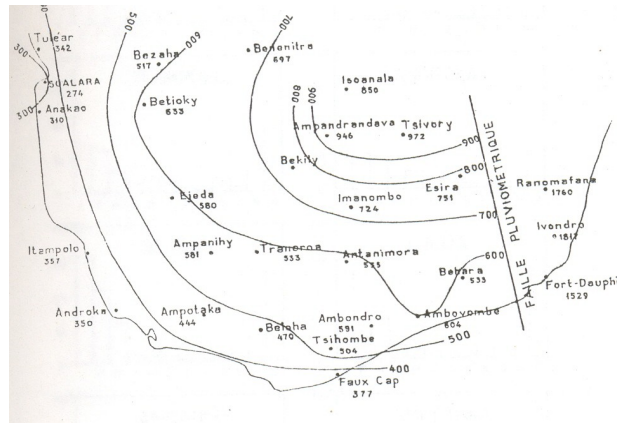


*Photo.4. Coloration des mares à spirulines au mois de Juin [11]
La salinité de atteint plus de 150 ‰ et le pH du milieu est 10.*

Lors que la pluie tombe, et la salinité des eaux baisse, l'eau redevient bleue verte. Cette couleur est due à la présence de la spiruline.

Ce Phénomène naturel de coloration des eaux de mares se produit lorsqu'on enferme une culture de spiruline dans une bouteille. La salinité de l'eau reste la même qu'au départ de l'expérience. La coloration rouge s'observe également lors qu'on conserve une culture de la spiruline dans une bouteille pendant quelques semaines.

La zone où se trouve notre station de recherche et d'exploitation de la spiruline se trouve sur une bande où l'isohyète annuelle est comprise entre 300mm et 400mm/an.



Carapace dorsale de Dipsocheylys grandidieri

Longueur = 80 centimètres

Largeur = 60 centimètres

Profondeur =25 centimètres



FigureXII. Morceau d'os et de carapaces de Dispochelys grandidie. [11]

Et des débris de coquilles d'œufs d'Apyornis.

Le natron (carbonate) se trouve non seulement en solution dans les eaux mais aussi sous forme solide (évaporites) au fond des mares et à la surface de sols (comme de la neige) en hivers.



Photo.5. Evaporites de carbonate de sodium observées sur le gisement naturel de spiruline [11]



Photo.6. Boues noires très salées où ils se trouvent sous les eaux [11]

VI.1.2. Origine des eaux

Les eaux arrivent dans la dépression d'Antsokay de diverses manières. L'apport d'eau est dû pour une part aux eaux de pluies et pour une très large part à des connections souterraines avec l'Onilahy au Sud et le Fiherenena au Nord.

Comme l'on a vu les pluies sont peu importantes (entre 300 et 400mm/an). Cependant toutes les eaux de pluies qui tombent autour de cette dépression, ruissellent et convergent vers le fond de la dépression. Compte tenu de la faible précipitation (entre 300 et 400 mm/an) et une forte évaporation (1400mm/an), il y a un déficit hydrique de moins de 1100 mm/an)

De plus, ce site d'Ankoronga est situé entre deux fleuves. Il existe des infiltrations venant de Fiherenana et d'Onilahy et qui arrivent sous ce site. Alors la nappe phréatique est douce au départ et devient progressivement saumâtre en fonction de son exposition assez longtemps au soleil.

Nous observons une variation importante de la surface des bassins à spiruline qui sont des infrastructures creusées jusqu'à 1,75 m au dessous de la surface du sol. La surface minimale est observée au mois de novembre-décembre et la surface maximale à la fin de période de pluies.

La variation du niveau de la nappe est de l'ordre de 40 cm entre le mois de juillet et le mois de décembre dans les années normales.

La couleur des eaux varie d'un endroit à un autre et d'une période à une autre :

- ❖ Avec une salinité inférieure à 65⁰/100 et un pH comprise entre 8,5 à 11, la couleur de l'eau est bleue-verte dans les mares où se développe la spiruline.
- ❖ Avec une salinité plus de 65⁰/100 un pH trop importante, et une température plus de 75°C, la couleur de l'eau est jaune, devient rose et rouge. Aucune spiruline n'est pas observée dans un échantillon d'eau sous microscope. La spiruline s'adapte sous une forme invisible.

VI.2. Résultats des visites

VI.2.1. Observations sur terrain :

Date de descente : 10 Novembre 2006

Encadrement : - Dr RAMAMPIHERIKA Kotonirina Daniel, enseignant chercheur de l'IHSM (Institut Halieutique des Sciences Marines) à Tuléar.

- Dr RAKOTOARIVONIZAKA Ignace, enseignant chercheur de l'ESPA (Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo)

Site à observer : Ankoronga

Nous présentons quelques photos du site, nous rappelons que ce site est organisé en deux stations A et B.

Pour la station A :



Photo.7. Bassin à spiruline au cours de préparation de culture



Photo.8. Bassin à spiruline au cours de préparation de culture



Photo.9. Préparation du bassin avant la culture de spiruline



Photo.10. Préparation du bassin avant la culture de spiruline



Photo.11. Bassin sans spiruline avec une présence d'un peuplement stromatolique



Photo.12. Spiruline produite et recueillie dans les 4 bassins de la station A

Pour la station B



Photo.13. 4 bassins présentant de la spiruline



Photo.14. Bassin B3 présentant de spiruline

VI.2.2.prélèvement des échantillons et mesure sur place de pH et Salinité

Au cours de la visite, nous avons prélevé 10 échantillons d'eau de différents bassins observés et quelques échantillons de sol. Nous avons aussi mesuré sur place le pH, et la salinité

Nous avons utilisé sur place :

- ❖ Papier PH
- ❖ Un salinomètre : un appareil de mesure de salinité portable .Il utilise le principe d'un réfractomètre classique. l'étalonnage se fait à l'aide de l'eau distillée. Par l'oculaire on observe une échelle correspondant à des valeurs de la salinité. La salinité de l'eau à analyser correspond à la valeur où on a le trait de séparation des couleurs du spectre obtenu par dispersion de la lumière blanche. Cet appareil donne directement une valeur de salinité en ‰ qui est l'équivalent de 1mg/litre.

VI.2.3. Résultats des mesures :

Nous avons obtenu les résultats suivants

i. Résultats des mesures du pH et de salinité dans la station A

| Echantillon d'eau du bassin N° | PH | Salinité | Observations |
|--------------------------------|----|----------|---|
| A1 | 11 | 25‰ | Bassin près d'un puits |
| A7 | 11 | 80‰ | Bassin sans spiruline à cause de la présence d'une population stromatolique et l'eau est colorée en rouge |
| A8 | 10 | 12‰ | Le bassin est en |

| | | | |
|----|---|-----|---|
| | | | cours de démarra ge du culture |
| A9 | 9 | 25‰ | Le bassin est en cours de démarra ge du culture |

j. Résultats des mesures du pH et de salinité dans la station B

| N° bassin | pH | Salinité | Observations |
|-----------|-----|----------|--|
| NP | 7,5 | 20‰ | Nappe phréatique qui alimente le bassin |
| B1 | 10 | 65‰ | Au cours de production de la spiruline |
| B2 | 11 | 80‰ | Au cours de production de la spiruline |
| B3 | 11 | 30‰ | Au cours de production de la spiruline |
| B4 | 9,5 | 2‰ | Au cours de production de la spiruline |

VI.3. Conclusion :

Comme interprétation de ces premiers résultats d'analyse physique obtenus sur place, nous reconnaissons qu'une population saine de spiruline qui se développe d'une manière naturelle a besoin des eaux présentant les caractéristiques suivantes :

- pH = 11 couplée à une salinité à 30‰.
- Couleur nettement verte.

Ces valeurs des caractéristiques physiques de l'eau de culture sont encore basses au début de la croissance de la population de spiruline (pH<11 et salinité <30‰).

A la fin de la visite des mares d'Ankoronga, nous avons remarqué et conclu que pendant la saison sèche, des sels de carbonates et de bicarbonate s'incrudent dans le sol, soit en aiguilles dures, soit en masse spongieuse de petites aiguilles.

Chapitre VII. **CARACTÉRISATION EFFECTUÉE À PARTIR DES PRÉLÈVEMENTS**
EAUX DE MARES D'ANKORONGA

DES

VII.1. Objectifs :

L'état de situation des résultats des recherches antérieures incomplètes nous a amené à penser certaines lacunes. C'est qui nous a conduit à faire une étude systématique des paramètres physico-chimiques propres aux eaux de mares de Tuléar

Nous avons effectué l'analyse aux laboratoires du Département de Génie Chimique de Vontovorona pour avoir les paramètres physico chimiques des eaux de mares d'Ankoronga. Nous aurons par la suite toutes les données nécessaires sur le traitement des eaux pour tout projet de production délocalisée de spiruline à MADAGASCAR.

VII.2. Prélèvements

Il s'agit des prélèvements d'échantillons d'eau des mares que nous avons effectués le 10 novembre 2006, sur certains points de prélèvement de chaque station. On a choisi 10 points des prélèvements.

Les prélèvements sont effectués à l'aide d'une bouteille propre en plastique de capacité un litre et demi.

VII.3. Méthodes d'analyse utilisées :

Les travaux effectués sont axés sur les analyses des caractéristiques physiques des échantillons d'eaux et sur les analyses chimiques quantitatives de ces mêmes échantillons.. Les paramètres physico chimiques considérés sont le pH, la turbidité, le Titre Alcalimétrique (TA), le Titre Alcalimétrique Complet (TAC), les teneurs en ion sulfate (SO_4^{2-}), ion phosphates (PO_4^{3-}), ion nitrite (NO_2^-), ion nitrate (NO_3^-), ion HCO_3^- , ion chlorure (Cl^-), en fer, magnésium, calcium, sodium et potassium.

Il est à signaler que toutes les méthodes d'analyses sont consignées dans l' ANNEXE III.

VII.4. Résultats des analyses

Nous avons assemblé les résultats en deux groupes: le premier groupe concerne la station A, l'autre groupe, la station B.

VII.4.1. Pour la station A :

Nous avons choisis 4 bassins dans la station A pour prélever les échantillons d'eau. Les photos suivantes illustrent le mode de prélèvement pratiqué:



Photo.15. Prélèvement dans un bassin au cours de démarrage de culture



Photo.16. Prélèvement dans une mare à milieu naturel de salinité plus de 300‰

Les résultats obtenus aux laboratoires de Département de Génie chimique de l' ESPA sont consignés dans les tableaux suivants:

k. Résultats d'examen physique des eaux de mares de la station A

| | Echantillons prélevés | A1 | A7 | A8 | A9 | MN | Sol n°1 | Sol n°2 | Sol n°3 |
|---------------------------------------|----------------------------------|----------|----------|----------|----------|-------------|---------|---------|---------|
| Caractéristiques physiques | Aspect | trouble | trouble | trouble | trouble | trouble | trouble | trouble | trouble |
| | Turbidité (mg/l) | 73,1698 | 43,8584 | 51,2368 | 31,8128 | 1020,7538 | 59,0866 | 33,363 | 49,222 |
| | Couleur | Jaunâtre | jaunâtre | jaunâtre | jaunâtre | Rouge | limpide | limpide | limpide |
| | Saveur | salée | salée | salée | salée | salée | salée | salée | salée |
| | pH | 11 | 11 | 10 | 9 | 11 | 10 | 9.5 | 10.5 |
| | Salinité (‰) | 25 | 80 | 12 | 25 | plus de 300 | 12 | 25 | 30 |
| | TA (méq/l) | 1,2 | 0,74 | 0,4 | 0,28 | Plus de 20 | 0,5 | 0,3 | 0,4 |
| | CAC (méq/l) | 2,38 | 1,12 | 0,8 | 0,84 | Plus de 20 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |

I. Résultats des analyses des anions des eaux de mares de la station A

| Anions | ECHANTILLONS PRELEVES | | | | | | | |
|---|-----------------------|----------|----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|
| | A1 | A7 | A8 | A9 | MN | Sol n°1 | Sol n°2 | Sol n°3 |
| HCO ₃ ⁻ (mg/l) | 4549,400 | 6424,037 | 5325,280 | 5422,220 | 12045,380 | 4652,056 | 4856,365 | 4269,632 |
| CO ₃ ⁻ (mg/l) | 6208,000 | 4112,250 | 3062,012 | 4109,850 | 13365,252 | 4365,236 | 44263,365 | 4369,124 |
| Cl ⁻ (mg/l) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 223,650 | 99,400 |
| SO ₄ ²⁻ (mg/l) | 3437,569 | 3315,158 | 3235,580 | 3313,900 | 2732,590 | 3373,513 | 2993,986 | 3273,082 |
| NO ₃ ⁻ (mg/l) | 13,883 | 6,599 | 17,891 | 9,582 | 199,345 | 0,027 | 7,054 | 0 |
| NO ₂ ⁻ (mg/l) | 3,453 | 1,392 | 2,474 | 1,229 | 3,604 | 1,409 | 30,877 | 1,028 |
| PO ₄ ³⁻ (mg/l) | 1,010 | 1,024 | 2,013 | 2,019 | 0,010 | 1,019 | 1,023 | 1,024 |

m. Résultats des analyses des cations des eaux de mares de la station A

| Cations | ECHANTILLONS PRELEVES | | | | | | | |
|----------------------------|-----------------------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | A1 | A7 | A8 | A9 | MN | Sol n°1 | Sol n°2 | Sol n°3 |
| Mg ²⁺ (mg/l) | 17,053 | 7,473 | 15,000 | 15,011 | 156,850 | 13,848 | 11,713 | 8,664 |
| Fe ²⁺ (mg/l) | 23,384 | 10,938 | 12,808 | 2,6296 | 827,493 | 10,883 | 19,439 | 5,327 |
| Ca ²⁺ (mg/l) | 24,096 | 12,048 | 14,457 | 18,072 | 220,880 | 4,016 | 6,425 | 11,244 |
| Na ⁺ (mg/l) | 1351,000 | 4595,236 | 1256,865 | 1434,132 | 10000,000 | 13256,332 | 1362,236 | 12365,789 |
| K ⁺ (mg/l) | 1059,235 | 3965,432 | 642,000 | 1000,123 | 12000,000 | 1532,465 | 15423,965 | 14256,845 |

**n. Concentrations des espèces chimiques alcalino-terreuses et alcalines
des eaux de mares de la station A**

| sels dissous | Echantillons prélevés | | | |
|-------------------------------------|-----------------------|-------|-------|--------|
| | A1 | A7 | A8 | A9 |
| OH ⁻ | 8,092 | 1,224 | 2,720 | 0,476 |
| CaO | 13,328 | 2,016 | 4,480 | 0,784 |
| Ca (OH) ₂ | 17,612 | 2,664 | 5,920 | 1,036 |
| MgO | 9,520 | 1,440 | 3,200 | 0,560 |
| Mg (OH) ₂ | 13,804 | 2,088 | 4,640 | 0,812 |
| NaOH | 19,040 | 2,880 | 6,400 | 1,120 |
| CO ₃ | 0 | 4,560 | 0 | 6,720 |
| CaCO ₃ | 0 | 7,600 | 0 | 11,200 |
| MgCO ₃ | 0 | 6,384 | 0 | 9,408 |
| Na ₂ CO ₃ | 0 | 8,056 | 0 | 11,872 |
| Ca (HCO ₃) ₂ | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Mg(HCO ₃) ₂ | 0 | 0 | 0 | 0 |
| NaHCO ₃ | 0 | 0 | 0 | 0 |

VII.4.2. Pour la station B :

Les échantillons d'eau ont été prélevés dans 4 bassins contenant de la spiruline et la nappe phréatique qui alimente les bassins.



Photo.17. Prélèvement dans un bassin au cours de production

Les résultats obtenus aux laboratoires de Département de Génie chimique de l' ESPA sont consignés dans les tableaux suivants:

o. Résultats d'examen physique des eaux de mares de la station B

| | Echantillons prélevés | NP | B1 | B2 | B3 | B4 | Sol |
|----------------------------|--------------------------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| Caractéristiques physiques | Aspect | limpide | trouble | trouble | trouble | trouble | limpide |
| | Turbidité (mg/l) | 28,777 | 636,018 | 467,735 | 55,720 | 23,759 | 31,749 |
| | Couleur | limpide | Bleu vert | Bleu vert | Bleu vert | Bleu vert | incolore |
| | Saveur | salée | salée | salée | salée | salée | salée |
| | PH | 7,5 | 10 | 11 | 11 | 9,5 | 10 |
| | Salinité (‰) | 2 | 65 | 80 | 30 | 20 | 23 |
| | TA (méq/l) | 0 | 3,3 | 3,340 | 1,92 | 0,36 | 0,06 |
| | TAC (méq/l) | 0,12 | 2,3 | 3,7 | 4,92 | 1,08 | 0 |

p. Résultats des analyses des anions des eaux de mares de la station B

| | ECHANTILLONS PRELEVES | | | | | |
|---|-----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Anions | NP | B1 | B2 | B3 | B4 | Sol |
| HCO ₃ ⁻ (mg/l) | 536,400 | 5624,097 | 5228,240 | 5321,720 | 5215,840 | 5698,654 |
| CO ₃ ⁻ (mg/l) | 302,000 | 4112,250 | 5062,012 | 4109,850 | 4109,850 | 4526,452 |
| Cl ⁻ (mg/l) | 10,650 | 0 | 0 | 0 | 461,500 | 152,650 |
| SO ₄ ²⁻ (mg/l) | 213,740 | 3432,183 | 3282,592 | 3132,862 | 907,029 | 3213,383 |
| NO ₃ ⁻ (mg/l) | 2,444 | 48,562 | 43,133 | 12,365 | 12,291 | 193,216 |
| NO ₂ ⁻ (mg/l) | 1,487 | 15,469 | 16,098 | 2,485 | 0,301 | 0,256 |
| PO ₄ ³⁻ (mg/l) | 0,025 | 4,011 | 5,005 | 4,011 | 4,026 | 3,026 |

q. Résultats des analyses des cations des eaux de mares de la station B

| | ECHANTILLONS PRELEVES | | | | | |
|-------------------------|-----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Cations | NP | B1 | B2 | B3 | B4 | Sol |
| Mg ²⁺ (mg/l) | 13,369 | 87,703 | 56,163 | 28,909 | 29,843 | 17,512 |
| Fe ²⁺ (mg/l) | 3,217 | 113,804 | 88,320 | 16,141 | 20,631 | 1,360 |
| Ca ²⁺ (mg/l) | 4,819 | 148,592 | 60,240 | 80,320 | 20,811 | 10,040 |
| Na ⁺ (mg/l) | 2,654 | 3062,300 | 4385,326 | 1786,400 | 1177,240 | 1326,854 |
| K ⁺ (mg/l) | 1,235 | 3045,200 | 3826,500 | 1256,009 | 925,336 | 1263,325 |

r. Concentrations des espèces chimiques alcalino-terreuses et alcalines des eaux de mares de la station B

| sels dissous | Echantillons prélevés | | | | |
|-------------------------------------|-----------------------|--------|--------|--------|-------|
| | NP | B1 | B2 | B3 | B4 |
| OH ⁻ | 0 | 25,840 | 10,540 | 0 | 0 |
| CaO | 0 | 42,560 | 17,360 | 0 | 0 |
| Ca (OH) ₂ | 0 | 56,240 | 22,940 | 0 | 0 |
| MgO | 0 | 30,400 | 12,400 | 0 | 0 |
| Mg (OH) ₂ | 0 | 44,080 | 17,980 | 0 | 0 |
| NaOH | 0 | 60,800 | 24,800 | 0 | 0 |
| CO ₃ | 0 | 45,600 | 4,320 | 23,040 | 4,320 |
| CaCO ₃ | 0 | 76 | 7,200 | 38,400 | 7,20 |
| MgCO ₃ | 0 | 0 | 6,048 | 32,256 | 6,048 |
| Na ₂ CO ₃ | 0 | 0 | 7,632 | 40,704 | 7,632 |
| Ca (HCO ₃) ₂ | 1,944 | 0 | 0 | 17,496 | 5,832 |
| Mg (HCO ₃) ₂ | 1,752 | 0 | 0 | 15,768 | 5,256 |
| NaHCO ₃ | 2,016 | 0 | 0 | 18,144 | 6,048 |

VII.5. Interprétations des résultats :

Dans le cas de la zone d'étude, l'eau de puits ou la nappe souterraine alimente les bassins de culture de la spiruline, selon le renseignement recueillis.

Nombreuses peuvent être les causes de la minéralisation de l'eau, selon DOMERGUE en 1976 :

- L'emplacement du bassin à la proximité de l'eau de mer,
- La concentration des sels minéraux par évaporation,
- La nature du sol qui est halomorphe,
- Et la stagnation ou le peu de mouvement de la nappe.

Dans la zone d'étude, nous avons constaté à la proximité du bassin où se développent les spirulines la présence :

- De mares dont l'eau est de couleur rouge avec une salinité proche de 300‰. Aucune forme de vie n'y a été observée. Mais après la saison pluvieuse, la salinité de l'eau a baissé de 58‰ et des spirulines commencent à y proliférer.
- De mares dont la salinité de l'eau est inférieure à 5‰. Très peu de spiruline seulement a pu y être observées.

- ❖ La valeur moyenne du pH est égale 9 à 11 pour les 2 stations, ceci explique que la spiruline se développe dans une eau de pH basique.
- ❖ La teneur en trouble est très élevée par rapport à la norme de potabilité.
- ❖ La salinité de l'eau du bassin atteint jusqu'à 80‰, ceci implique que le taux de sodium et le

potassium dans l'eau sont très élevés. Donc, la spiruline a besoin d'une salinité assez élevée pour pouvoir vivre normalement.

- ❖ La concentration en nitrite (NO_2^-) pour le bassin contenant de la spiruline est de 2,4852 à 16mg/l. Mais ces teneurs dépassent toutes la normes de potabilité (0.1mg/l).
- ❖ La concentration en Cl^- (mg/l) est très faible, ceci signifie que le taux de bactéries dans les eaux est énorme.
- ❖ La concentration en Calcium (Ca^{2+}) atteint de 20 à 148 mg/l ; ceci implique que l'eau contenant de la spiruline est très calcaire. Le phosphate a tendance à précipiter sous formes de phosphates de calcium (très insolubles), et ceci d'autant plus que le pH et la température de la culture sera élevée. Alors la composition moyenne en phosphore de la spiruline de Madagascar est de 0,8%. et la composition moyenne en calcium de la spiruline est de 0,09%. la moyenne n'est donc qu'une tendance générale. Mais les phosphates insolubles peuvent rester en sursaturation (en solution) sans précipiter pendant très longtemps, surtout en présence de matières organiques, et même si parallèlement du carbonate de calcium précipite. Il est donc très difficile de prédire quand le phosphate en solution va être insuffisant pour une bonne croissance de la spiruline. En cours de culture, surtout en cas de faible croissance ou de problème, il est bon de mesurer la teneur en phosphate du milieu filtré, si elle est inférieur à 5mg/l, de rajouter du phosphate, si on n'a pas de test phosphate, on peut tenter de rajouter du phosphate pour ranimer la croissance.
- ❖ La concentration en fer atteint de 16,141 à 113,8045mg/l, ceci explique que la spiruline est donc riche en fer. Et le fer constitue les pigments protéiques appelés « cytochromes » qui transfèrent les électrons dans la chaîne photosynthétique et favorisent la synthèse des molécules organique.
- ❖ La concentration en magnésium (Mg^{2+}) atteint de 20,909 à 87,7031mg/l, ceci implique que la spiruline a aussi besoin de magnésium. Car le magnésium entre dans la composition de la chlorophylle.

- ❖ Le calcul de TA et TAC permet d'obtenir les concentrations des espèces chimiques alcalino-terreux et alcalines données dans les tableau 14 et 18. Ces valeurs permettent de confirmer la basicité ainsi que les caractéristiques organiques des eaux.

VII.6. Interprétation des résultats expérimentaux sur le sol

Les résultats d'analyses que nous avons obtenus au laboratoire sur la salinité des échantillons du sol prélevés dans les mares d'Ankoronga sont voisins à ceux de résultats d'analyse ci après que nous avons consulté dans la bibliographie.

s. Résultats d'analyse de la salinité du gisement suivant la bibliographie [12]

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|----|----|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Echantillons | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| Salinité (‰) | 12 | 43 | 8 | 8 | 2 | 3 | 7 | 3 | 12 | 20 | 9 | 4 | 8 | 7 | 37 | 12 | 1 | 10 |

| | | | | | | | | | | | | |
|--------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Echantillons | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
| Salinité (‰) | 10 | 30 | 14 | 14 | 16 | 46 | 14 | 6 | 30 | 5 | 2 | 3 |

D'après ce tableau, il est vérifié que la nature du sol de la zone d'étude est halomorphe dont la salinité maximale est de 46‰ et la minimale de 1‰. La salinité moyenne est de 13,2‰ et l'écart type de 12,13‰

Comme le coefficient de variation est égal à 91,8%, nous avons donc ici des échantillons de sol très hétérogène. La valeur moyenne de la salinité du sol qui est égale à 13,2‰ n'est donc pas une caractéristique de la surface étudiée. La valeur de la salinité s'éparpille de 1‰ à 46‰.

L'étude des couches formant le sol d'Ankoronga est réalisée à travers des observations du sol abandonné par les briquetiers :

A la surface : diverses couvertures végétales, dont des plantes du genre sporobolus, herbe bio indicatrice de sols riches en gemme ou « siraboka », et de bicarbonate de sodium.

De 0 à -0,20m de profondeur : des complexes argilo humiques favorisent le développement des plantes herbacées.

De -0,20m à -0,90m de profondeur des argiles blanches appelées « argilo calcaire » [10] type de sol défavorable à l'agriculture classique caractérisée par une bonne rétention de l'eau.

Au-delà de -0,90m de profondeur : des nappes d'eaux douces souterraines (teneur en sel de 0‰).

Le sol de mares à spiruline est constitué principalement d'une vase argileuse. Le bicarbonate de sodium se trouve non seulement en solution dans les eaux mais aussi sous forme solide au fond et à la surface de mare ainsi qu'en incrustation dans le sol alentours, soit en argiles (cf. photo n°18). Le pH des eaux est basique (pH 8 à 11). Ce milieu très spécifique, riches sels minéraux, en bicarbonate de sodium est favorable au développement de la spiruline car d'une part il est sélectif aux autres organismes aquatiques et compétiteurs le milieu alcalin fixe du gaz carbonique de l'atmosphère qui est nécessaire à la photosynthèse d'autre part. et aussi ce milieu est fossilifère car nous avons trouver des coquillages et de fossile d'œuf d'aepyornis. Tous cela prouve qu'il y a auparavant de l'eau de mer dans ce site naturel.



Photo.18. Précipitation de carbone du site de culture à Ankongra [10]

VII.7. Etude suivant le bilan ionique

VII.7.1.méthode de programmation informatique utilisée :

La méthode du bilan ionique utilise une programmation informatique développée dans le logiciel du nom « GWW » abrégé du nom (Ground Water software for Windows). C'est un Système de la Gestion des Bases des données (SGBD) sur les résultats d'analyses des eaux.

Le logiciel peut faire le calcul de :

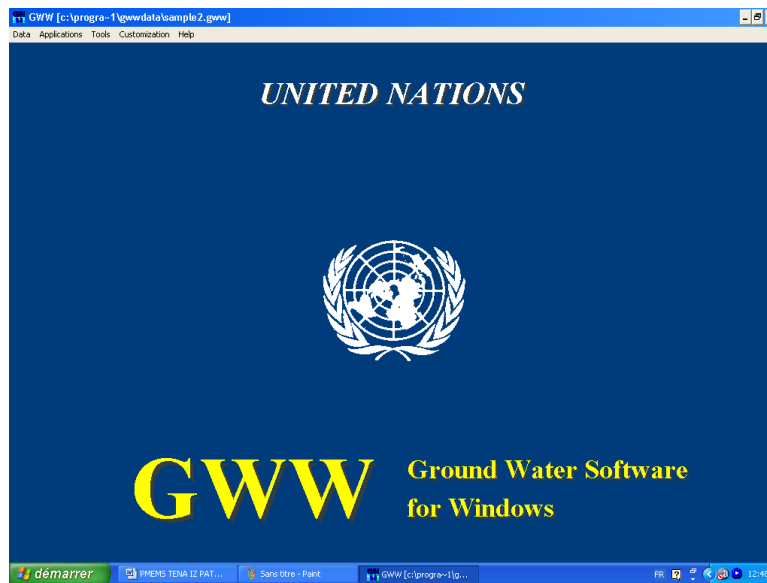
- ❖ la somme de concentration des cations (que nous désignons C)
- ❖ la somme de concentration des anions (que nous désignons C')
- ❖ et le pourcentage de l'écart ou de la balance ionique que nous calculons

par la relation suivant :

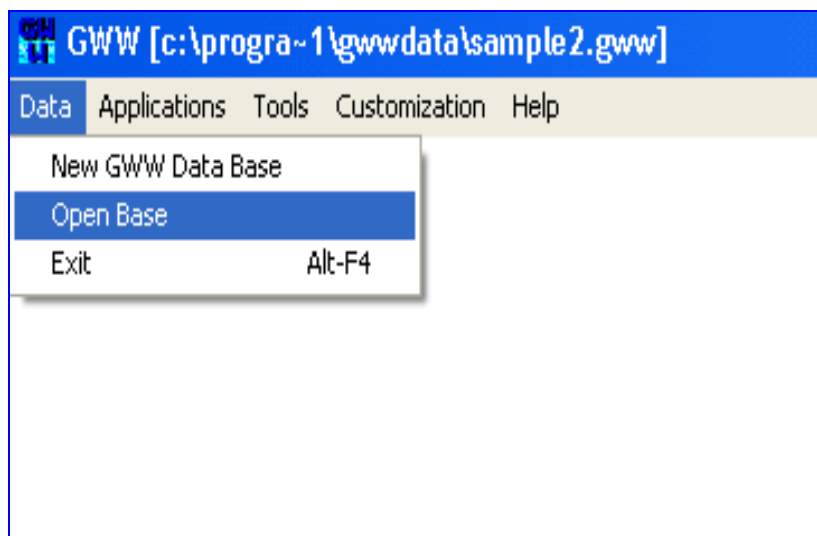
$$\frac{\Delta C \times 100}{\Sigma C} = \frac{C - C' \times 100}{C + C'}$$

La manipulation du logiciel est présentée ci-dessous :

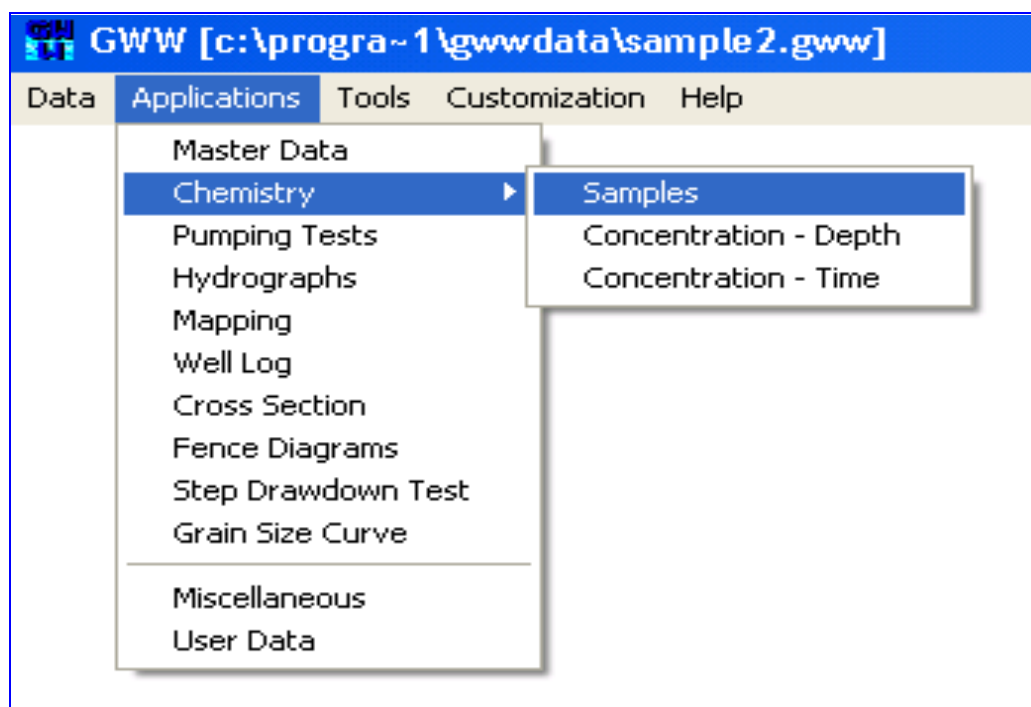
Ouvrir le logiciel GWW, et on obtient le fichier suivant :



Après, dans la barre de menus, cliquer sur « data » et « open base » :



Ensuite, cliquer sur « application », après « chemistry », puis « samples » :



Donc, on doit avoir le tableau ci- après, et y entrer tout de suite tous les valeurs .Finalement et automatiquement, on obtient la balance error en pourcentage :

Chemistry -- Samples [c:\progra~1\gwwdata\sample2.gww]

Data Diagrams Reports Options Map Make Random Help

10/10

A1
A7
A8
A9
B1
B2
B3
B4
MN
NP

Well Ident. A1 Description

PPM

| INPUT DATA | | | | |
|--------------|-----------------|----------------|----------------|--------------|
| Ca 24.10 | Mg 17.05 | Na 1351.00 | K 1059.23 | Fe 23.38 |
| Mn | HCO3 4549.40 | CO3 6208.00 | SO4 3437.57 | Cl 0.00 |
| NO3 13.88 | NO2 3.45 | PO4 1.00 | F | B |
| SiO2 | TDS | Hardness | Alkalinity | Conductivity |
| pH | | | | |

| CALCULATED DATA | | | |
|-----------------|-------------------|-------------------|------------------------|
| SAR 297.8416 | CATIONS 2474.8 | ANIONS 14209.9 | BALANCE ERROR 70.33 |

AQUIFER



La somme de concentration des cations (que nous désignons C)



La somme de concentration des anions (que nous désignons C')



Balance ionique en pourcentage (en valeur absolue)

VII.7.2. Les résultats de l'établissement du bilan ionique des eaux de prélèvements analysés au laboratoire :

A partir des données de résultats d'analyses des cations et des anions indiqués dans les tableaux n°12, 13 pour la station A, et de n°16, 17 pour la station B, les traitements de ces données sous programmation GWW ont donné sur le bilan ionique que nous avons rapporté dans les tableaux suivants:

t. Bilan ionique pour la station A

| Echantillons | C en mg/l | C' en mg/l | Bal ion en % |
|--------------|-----------|------------|--------------|
| A1 | 2474,8 | 14209,9 | -70,33 |
| A7 | 8591,1 | 13859,1 | -23,47 |
| A8 | 1941,1 | 11642,8 | -71,42 |
| A9 | 2470 | 12857,6 | -67,77 |
| MN | 377,7 | 28342,6 | -97,37 |

u. Bilan ionique pour la station B

| Echantillons | C en mg/l | C' en mg/l | Bal ion en % |
|--------------|-----------|------------|--------------|
| NP | 25,3 | 1065,3 | -95,36 |
| B1 | 6457,6 | 13221,1 | -34,37 |
| B2 | 8410,6 | 13621,0 | -23,65 |
| B3 | 3167,87 | 12580,8 | -59,77 |
| B4 | 2113,9 | 10249,0 | -65,80 |

VII.7.3.Conclusion :

D'après les résultats obtenus à partir du logiciel GWW, nous constatons d'abord que les anions sont dominants par rapport aux cations. Cette prédominance des anions proviennent de la valeur très importante de quantité de carbonate et bicarbonate qui atteint jusqu'à 3200 à 5200mg/l. On peut dire que la spiruline a besoin d'une eau de culture plus riche en anions HCO_3^- et CO_3^{2-} , ce qui confirme les résultats obtenus par les analyses au laboratoire présentés aux tableaux 16 et 17

Rapport-gratuit.com 
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

VIII.1. Introduction

A partir des résultats des enquêtes sur terrain et d'analyses au laboratoire, on peut formuler les normes des caractéristiques physico chimiques des eaux permettant à un développement naturel et optimal de la spiruline.

VIII.2. Normes :

En général, les paramètres physico chimiques nécessaires pour le développement de la spiruline sont les suivants :

- la température
- l'éclairage
- l'agitation du milieu
- le pH de l'eau
- Les éléments nutritifs essentiels
- La source de gaz carbonique
- La salinité de l'eau
- Les compositions chimiques de l'eau concernant les anions et les cations suivants: les ions sulfates, phosphates, chlorures, nitrites, nitrates, carbonates, et bicarbonates. le calcium, le magnésium, le sodium, le fer, et le potassium.

VIII.2.1. Une température ambiante

Une plage de températures entre 25°C et 40°C correspond à la condition permise de survie de la spiruline. On montre que la température optimale de croissance de la spiruline se situe entre 30°C et 40°C durant la période lumineuse et à 25°C en période obscure.

VIII.2.2. Un éclairage permanent

Cette permanence de l'éclairage que l'on obtient grâce à une insolation continue favorise la photosynthèse nécessaire au développement naturel de la spiruline.

VIII.2.3. Une agitation du milieu

L'agitation du milieu sert pour suppléer le mouvement limité de la spiruline. En effet comme on a vu lors de l'étude bibliographique, la spiruline ne peut que se déplacer qu'horizontalement et verticalement. Il faut provoquer des mouvements de brassage de l'eau. Il est donc nécessaire de prévoir un système d'aération naturelle provoqué par le vent. Cela permet de créer des mouvements de convection au sein de l'eau et éliminer en même temps le voile planctonique vers le rivage.

VIII.2.4.pH de l'eau

Le milieu naturel qui est l'eau doit avoir un pH basique compris entre 8 et 11. Les prédateurs éventuels de la spiruline ne peuvent pas vivre dans un milieu ayant un pH dans ce domaine. Cette absence des prédateurs favorise énormément la croissance et le développement de la spiruline.

VIII.2.5.Des éléments nutritifs essentiels

Ces éléments proviennent des eaux et du sol du fond. En particulier le bicarbonate de sodium est un élément minéral très important pour le développement de la spiruline. Il se présente sous deux formes :

- forme dissoute dans les eaux
- forme solide dans le sol du fond

Le bicarbonate de sodium joue un rôle très important pour la fixation de CO_2 de l'air atmosphérique et pour la photosynthèse. De nombreux autres éléments tel que : azote, phosphore, fer, soufre, sodium, calcium, magnésium, zinc, cobalt sont aussi indispensables à la croissance algale.

VIII.2.6.Source de gaz carbonique

Cette source peut être constituée par :

- l'air atmosphérique
- la photosynthèse opérée par les spirulines

Le CO_2 de l'air atmosphérique est fixé par le bicarbonate de sodium dissous dans l'eau. Il est déposé sur le sol du fond

VIII.2.7.Salinité de l'eau

D'après les diverses études antérieures et les résultats que nous avons obtenus, normalement, l'eau de culture de la spiruline doit avoir une salinité comprise entre 20 et 40ppm. Toutefois cette salinité peut être d'au moins 10g de sel par litre mais peut s'élever jusqu'à 200g par litre. Cette salinité peut être apportée par l'eau de mer.

VIII.2.8.Les compositions ioniques de l'eau :

VIII.2.8.1.Les anions :

L'eau à spiruline doit avoir une composition anionique présentant : les Sulfates, les phosphates, le chlorure, le nitrite, le nitrate, les carbonates, et les bicarbonates. Nos conclusions nous ont permis d'établir les valeurs montrées par les tableaux suivants comme normes des concentrations de ces anions nécessaires au développement naturel de la spiruline:

v. Normes des concentrations des anions pour le développement de la spiruline

| paramètres | unité | valeurs | V min | V max |
|-------------------------------|-------|----------|----------|----------|
| Cl ⁻ | mg/l | 0 | 0 | 8000 |
| SO ₄ ²⁻ | mg/l | 3225,346 | 3132,862 | 3432,183 |
| NO ₃ ⁻ | mg/l | 13,427 | 12,3655 | 4856,280 |
| NO ₂ ⁻ | mg/l | 10,198 | 2,4852 | 16,0985 |
| PO ₄ ³⁻ | mg/l | 4,017 | 2,0198 | 500,540 |
| CO ₃ ⁻ | mg/l | 3062,01 | 2208,00 | 4112,250 |
| HCO ₃ ⁻ | mg/l | 5228,24 | 2449,400 | 5228,240 |

VIII.2.8.2. Les cations :

L'eau à spiruline doit contenir les cations suivants : le calcium, le magnésium, le sodium, le fer, et le potassium. Les normes que nous avons établies sur les concentrations de ces cations nécessaires pour le développement de la spiruline sont montrées par le tableau suivant :

w. Normes des concentrations des cations pour le développement de la spiruline

| paramètres | unité | valeurs | V min | V max |
|------------------|-------|----------|----------|----------|
| Mg ²⁺ | mg/l | 54,0024 | 28,909 | 877,031 |
| Fe ²⁺ | mg/l | 65,5 | 16,141 | 11380,45 |
| Ca ²⁺ | mg/l | 60,24 | 2,4096 | 148,592 |
| k ⁺ | mg/l | 3065,300 | 925,336 | 4385,326 |
| Na ⁺ | mg/l | 3836,300 | 1786,400 | 4385,326 |

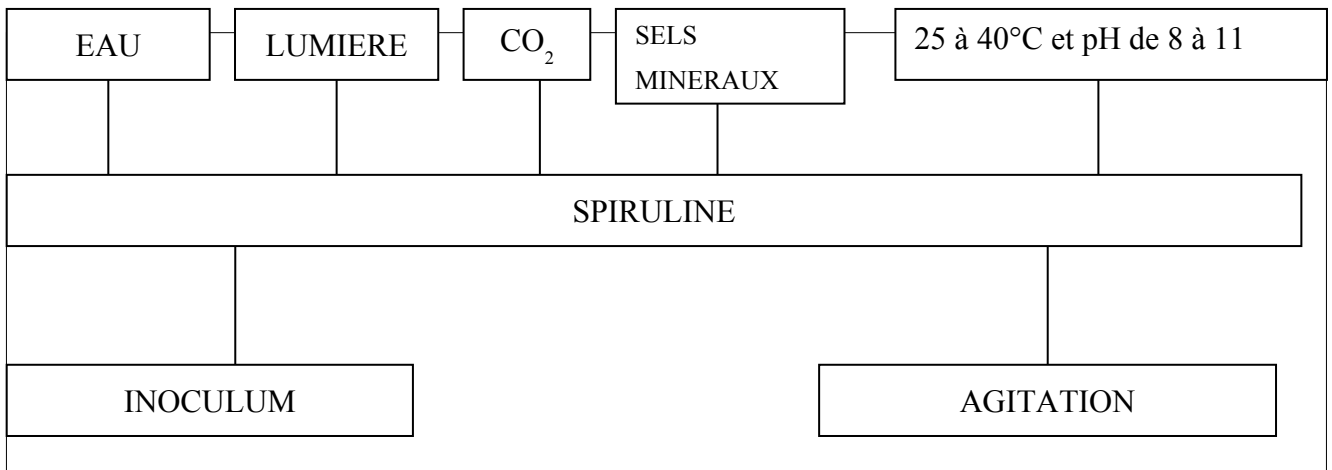
VIII.3. Applications des normes :

VIII.3.1. Pour la création des milieux naturels :

Des mares naturelles à spirulines sont découvertes dans l'Est africain (Tchad, Ethiopie, Kenya, Zaïre, Zambie) et au Mexique .Elles ont les caractéristiques suivantes :

- ❖ Les pays précités correspondent à des régions tropicales et subtropicales .Ces régions sont chaudes et ensoleillées (température moyenne annuelle supérieure ou égale à 22°C, température moyenne du mois le plus froid supérieure à 18°C).
- ❖ Les eaux de ces mares sont très saumâtres, riches en sels sodiques, principalement en bicarbonate et carbonate de sodium. Le pH est fortement alcalin

Pour procéder à culture en milieu naturel comme le cas de ces mares, il faut opérer à l'ensemencement de l'inoculum de Spiruline, le soir, pour que les algues puissent s'adapter dans leur nouveau milieu de culture pendant la nuit. Dès le lendemain, il est nécessaire de procéder à l'agitation du milieu, au moins 4 fois toutes les heures. Et enfin, la première récolte ne doit être entamée que 20 jours après l'ensemencement. En résumé, la culture de Spiruline se résume comme suit :



FigureXIII. Diagramme des flux pour la culture de Spiruline.[9]

Ces milieux naturels respectent bien les normes sur les caractéristiques physico-chimiques des eaux que nous avons établies, en particulier la température et le pH.

VIII.3.2.Exemple des caractères physico chimiques d'un milieu de la culture d'un bassin en cours de production [15]



Photo.19. Bassin en tissu polyamide enduit PVC, Ecopark, Madurai, Tamil Nadu (Inde), 18 m², 1998
D'après nos investigations bibliographiques, nous avons relevé un exemple d'analyse du milieu de culture d'un bassin au cours de production localisé à Ecopark, Madurai, Tamil Nadu (INDE)

Eléments nutritifs

Carbonate = 2800 mg/l

Bicarbonate = 720 mg/l

Nitrate = 614 mg/l

Phosphate = 25 mg/l

Sulfate = 350 mg/l

Chlorure = 3030 mg/l

Sodium = 4380 mg/l

Potassium = 642 mg/l

Magnésium = 10 mg/l

Calcium = 5 mg/l

Ammonium + ammoniac = 5 mg/l

Fer = 1 mg/l

Salinité totale = 12797 mg/l

Densité à 20°C = 1010 g/l

Alcalinité = 0,105 N (molécule-gramme/l)

pH à 20°C = 10,4

Le milieu doit contenir en plus tous les oligoéléments nécessaires, apportés généralement par l'eau et par les impuretés des sels, mais dont il est prudent, quand on le peut, d'ajouter un complément, au moins en ce qui concerne le zinc. Un peu d'argile peut être un complément utile.

Remarque : Nous avons trouvé après étude que ces valeurs respectent les normes que nous avons établies.

VIII.3.3.Exemple des caractères chimiques recommandés pour un milieu de culture neuf (pH proche de 8) convenant pour des eaux de dureté nulle ou faible : [15]

Bicarbonate de sodium = 8 g/l

Chlorure de sodium = 5 g/l

Nitrate de potassium = 2 g/l (optionnel)

Sulfate dipotassique = 1 g/l (optionnel ; 0,1g/l minimum)

Phosphate monoammonique = 0,2 g/l

Sulfate de magnésium $\text{MgSO}_4, 7\text{H}_2\text{O}$ = 0,2 g/l

Chlorure de calcium = 0,1 g/l (ou Chaux = 0,07 g/l)

Urée = 0,009 g/l (ou 0,034 g/l pour extension de culture, par exemple bassin à géométrie variable),

Solution à 10 g de fer/litre = 0,1 ml/l

Solution d'oligoéléments = 0,05 ml/l

Ces valeurs nous conviennent car elles correspondent aux valeurs normalisées.

VIII.4. Conclusion de la deuxième partie:

En résumé, dans la région de Tuléar, le long de la zone côtière, il y a plusieurs sites des mares à spiruline. Ankoronga est l'un des sites intéressants observé. Nous avons prélevé d'échantillons d'eau dans ce site et nous avons effectué l'analyse au laboratoire. Ainsi, nous avons une connaissance plus complète et satisfaisante des caractéristiques physico chimiques des eaux de mares de ce site étudié. De plus à partir des analyses des résultats obtenus au laboratoire, nous avons formulé les normes des caractéristiques des eaux permettant à un développement optimal de la spiruline.

TROISIEME PARTIE: ETUDES DES IMPACTS DE L'EXPLOITATION DE LA SPIRULINE

IX.1. Intérêts de la production de la spiruline

Cette algue à une vitesse de croissance très supérieure à celle des autres végétaux supérieurs le temps entre deux divisions ou temps de génération est de l'ordre de 7heures. Le rendement d'utilisation de l'énergie solaire se situe entre 3 à 4,5% bien supérieur à celui de blé (0,8%), et celui du maïs (1%) qui est pourtant un des plus élevées. L'un des intérêts se trouve dans la valeur plus élevée de rendement de production de la spiruline. Un hectare de culture de spiruline (*Arthrospira*) produit 50kg par jour et cette production est sans saison.

IX.2. Impacts d'ordre socio-écologique

A cause de ses qualités nutritives et thérapeutiques et des avantages certaines sur la question de sa production, à moyen et à long terme, l'exploitation de spiruline (*Arthrospira platensis*) de la zone littorale semi-aride de Tuléar contribuera à :

- ❖ la réduction de la consommation des protéines d'origine animale
- ❖ la bonne nutrition dans la communauté, réduisant les pertes en vie humaine et les dégâts de troubles sociaux occasionnés par la sécheresse. En d'autres termes, la famine et la pauvreté chroniques dans la région seront supprimées
 - le relèvement des revenus de la population. Des activités créatrices de revenus peuvent être créées aussi, entraînant une amélioration des conditions de vie sociale et engendrant des activités alternatives aux pêches non appropriées, aux pratiques des cultures sur brûlis, à l'exploitation forestière, aux trafics des espèces protégées.

IX.3. Impacts d'ordre économique

Bien exploitée, la spiruline est une ressource naturelle de valeur marchande sûre dans le marché mondial (cosmétique, agroalimentaire, pharmaceutique ...). Localement, elle constitue un produit de substitution aux aliments conventionnels. Alors, la culture de la spiruline favorise le développement économique durable grâce à son prix très considérable (son prix est de l'ordre de 600 000 Fmg le kilo).

Voici quelques chiffres qui se présentent les avantages de la culture de la spiruline, si on veut produire des protéines :

- * Pour 1ha de la culture de spiruline vaut de :
 - 25 ha de culture de maïs
 - 250 ha de culture de riz
 - 300 ha d'élevage de zébus

Donc, la culture de spiruline est intéressante pour la planète terre, car elle se développe l'économie, la vie sociale et aussi protection de l'environnement.

Chapitre X. **SPIRULINE ET ENVIRONNEMENT**

X.1. Analyse du problème de traitement des eaux usées [15]

Au lancement de nouveaux bassins, tout marche bien ; c'est après 2 ou 3 mois de culture que les problèmes de récolte apparaissent. La salissure des eaux de culture, provoquée par la croissance rapide des spirulines, en est la principale cause. On constate une différence très nette entre la biomasse d'un milieu « propre » (filtration facile, ne colle pas au plastique, s'extrude bien et sèche sans fondre) et la biomasse d'un milieu vieux, qui a des propriétés diamétralement opposées.

Il existe plusieurs méthodes pour tester la qualité du milieu :

- 1. Méthode de décoloration d'une solution permanganate** (mesure de la teneur en matières organiques)
- 2. Test de filtration** (préconisé par JP Jourdan) : on utilise un filtre à café en papier pour filtrer 400 ml de culture et on mesure le volume de filtrat obtenu en une minute précise.
- 3. Les formes des résultats de ces méthodes peuvent se présenter comme suit :**
 - ❖ Milieu neuf sans spiruline : 400 ml/min,
 - ❖ milieu neuf avec spiruline : 300 ml/min,
 - ❖ milieu sale avec spiruline : < 100 ml/min.
 - ❖ Si l'on teste la turbidité du filtrat, le Secchi (disque noir) d'un milieu propre est très grand (par exemple > 20 cm), alors que celui d'un milieu sale peut être < 3 cm.

La méthode classique pour remédier à un milieu sale est de le jeter en bloc ou de pratiquer des purges régulières en remettant du milieu neuf. Ceci permet aussi d'utiliser des ajouts de bicarbonate pour maintenir une haute productivité en spirulines.

X.2. Systèmes d'assainissement des eaux usées avec purges [15]

. Selon Jean-Paul Jourdan, plusieurs solutions sont envisageables

- Evaporer à sec et jeter les sels à la déchetterie (mais souvent il n'y en a pas dans le tiers monde),
- Utiliser comme engrais sur des plantes tolérantes comme les cocotiers
- Utiliser en alimentation animale
- Les boues du fond des bassins (composées de précipités minéraux, spirulines mortes, exo polysaccharides, etc.) peuvent être intégrées au compost.

x.3. Systèmes d'assainissement des eaux usées sans purges [15]

Mais toutefois, il est aussi possible d'adopter un système d'assainissement du milieu de culture évitant les purges. Pour minimiser le besoin de purger, on s'appliquera à :

- Minimiser l'ajout de bicarbonate (utilisation de CO_2),
- Epurer et recycler les milieux usés.

Le milieu utilisé peut être recyclé : différents systèmes d'épuration sont mis en œuvre à l'échelle industrielle, mais ne sont guère applicables aux petites exploitations à vocation humanitaires. Car ils s'avèrent être trop compliqués et trop coûteux. Pour ces petites exploitations, il est proposé de se contenter du CO_2 atmosphérique, ce qui conduit à réduire la productivité autour de 4 g/j/m^2 . A ces basses productivités, on constate que l'autoépuration du milieu suffit à compenser la production de salissures.

Pour illustrer cette proposition, deux cas de figures sont présentés :

- Premier cas : 100 m^2 produisent 800 grammes / jour avec ajout de CO_2 et avec épuration du milieu,

- Deuxième cas : 200 m^2 produisent 800 grammes / jour sans ajout de CO_2 et sans épuration.

Le travail à basse productivité nécessite certes un terrain et des bassins bon marché, mais il présente d'autres avantages comme la possibilité

- D'ombrer fortement donc de réduire la consommation d'eau,
- De réduire les exigences climatiques,
- De se passer de pH-mètre.

Pour illustrer la capacité d'autoépuration des milieux de culture, deux exemples peuvent être fournis :

- À Mialet, après chaque hiver, les milieux se retrouvent presque neufs
- Une culture morte (par exemple d'un excès d'ammonium) peut être réensemencée et redevenir récoltable en 3 semaines.

Mais rien n'empêche de continuer à rechercher des méthodes d'épuration artificielles des milieux de culture qui soient compatibles avec les conditions du tiers monde, comme peut-être le traitement à base d'assainissement à la graine de moringa.

conclusion generale

CHAPITRE I Nous avons étudié la caractérisation physico chimique des prélèvements d'échantillons des eaux de Tuléar. Nous avons aussi cherché à formuler les normes sur la physico- chimie des eaux pour un développement optimal naturel de la spiruline.

Pour y arriver, d'abord nous avons commencé par l'étude bibliographique pour rassembler les données caractéristiques du développement de la spiruline utiles à notre étude, en particulier les données physico- chimiques des eaux.

Ainsi, la bibliographie montre que la spiruline est une algue bleu vert qui pousse dans les eaux chaudes tropicales dans certaines régions du globe.

De cette étude bibliographique, nous avons pu montré que son nom vient de sa forme, elle est constituée de petits filaments spiralés (0,3mm de long). La spiruline est formée plus de 55% de protéines, 20% de glucides, moins de 10% lipides, un ensemble complet des vitamines (A, B, C,...).

Nous avons rassemblé lors de cette étude bibliographique les conditions nécessaires pour le développement de la spiruline :

- température ambiante : caractéristique des pays chauds
- Insolation permanente caractéristique des pays semi-arides
- Agitation permanente
- Données physico chimiques de l'eau : pH, sels minéraux, salinité.

Nous avons pu rassemblé aussi en vue de notre étude expérimentale les données générales de la physico chimie des eaux : turbidité, TA, TAC, salinité, ...

Nous avons ensuite passé à l'étude expérimentale de la caractérisation physico chimique des eaux de mares prélevées dans la région de Tuléar. Pour cette étude expérimentale, nous avons présenté d'une manière complète les résultats des enquêtes que nous avons effectuées dans la zone d'étude. La région de Tuléar est riche en sites des mares propices au développement naturel de la spiruline à savoir : Manombo, Ifaty, Songerotelo, Ambotsibotsika, Belitsaky ; Belalanda, et Ankoronga. Les données sur les eaux de Belalanda et la visite du site d'Ankoronga, nous sont particulièrement intéressantes. Ainsi, nous avons présenté que le site d'Ankoronga est formé de plusieurs bassins de superficie entre 300 m² et 1500 m². Ce site présente un sol très riche en

carbonate dissous et une salinité variable suivant la saison. Généralement, cette salinité baisse lors que la pluie tombe. Lors des enquêtes, nous avons pu conclure l'inexistence des données physico-chimiques des eaux de mares. Nous avons rencontré peu d'indications sur la composition réelle des eaux de mares à savoir les anions tels que les sulfates, les chlorures, les carbonates,...et les cations tels que le calcium, le magnésium, le potassium, le sodium,...Nous avons alors entrepris à des analyses chimiques des prélèvements d'eau suivant la technique spectrophotométrique UV d'analyse aux laboratoires du Département de Génie chimique de l' ESPA. À partir des données de ces résultats, nous avons pu formuler quelques normes pour un développement optimal de la culture de spiruline : pH entre 8 et 11, salinité entre 20 à 40 ppm.

A la fin de notre ouvrage nous avons étudié et analysé certaines formes d'impacts d'une exploitation de spiruline :

- ✓ impacts d'ordre socio- écologique matérialisés par les améliorations des conditions nutritionnelles, sociales, des revenus, création des activités nouvelles alternatives aux pratiques destructives de l'environnement
- ✓ impacts d'ordre économique tels que la valorisation de la spiruline comme produit à valeur ajoutée certaine sur le marché agroalimentaire et pharmaceutique

D'autre part, nous avons pu montré que la sauvegarde de l'environnement peut être assurée par une exploitation de la spiruline grâce à des systèmes d'assainissement des eaux usées de la culture de la spiruline. Ces systèmes ont été présentés et étudiés.

L'ensemble des résultats obtenus à l'issue de ce travail ouvre de larges perspectives d'étude notamment sur la culture de la spiruline : les normes qu'il faut prendre et respecter pour le développement naturel de la spiruline sont établies. A présent qu'il est démontré que :

- « *la spiruline* » est une plante à vertus médicinales et complément alimentaire
- et des normes sur la physico-chimie des eaux de culture de la spiruline, pouvant assurer un développement optimal sont disponibles
- et l' algoculture de spiruline peut être pratiquée dans sa forme naturelle

Il est alors possible de réaliser la culture naturelle de la spiruline dans toutes les régions de Madagascar.

BIBLIOGRAPHIE

[1] ASTRE, C ; FEDKOVIC, PINGUET ; GERBER, YCHOU, PUJOL

« Spiruline et cancer »

Bulletin de l'Institut Océanographique Monaco, 12 1993

[2] BONTOUX Jean

« Introduction à l'étude des eaux douces »

. Fiche technique, Paris (1956)

[3] CHASTEL DURAND

« La spiruline, algue de vie »

. Bulletin de l'Institut Océanographique Monaco, 12 1993

[4] CLEMENT, G

Production et constituants caractéristiques des algues

Spiruline platensis et maxima

Annales de la nutrition et de l'alimentation, 29,6 1975

[5] CLEMENT, G ; SAFINAZ, A

« L'algue alimentaire spiruline Sp. : découverte de lacs naturels
à Wadi el Natroun en République Arabe d'Egypte »

Revue de l'Institut Française de pétrole, 1982

[6] COSSON, J

« Les algues, source de richesse pour l'économie mondiale »

Bulletin trimestriel de la société géologique de Normandie et
des amis du muséum du Havre, 63,4. 1976

[7] DGREMONT Lavoisier, MONOD Jérôme

« Mémento technique de l'eau, »

Tome I, 9^{ème} édition, (1989).

[8] FOX Ripley,

« SPIRULINA : Production & Potential ».

France, Borel & Feraud, 232p. 1996

[9] FOX Ripley et D,

Algoculture, la spiruline, un espoir pour le monde de la faim, EDISUD La Calade.

Aix en provence. 1986

[10] RAMAMPIHERIKA Kotonirina Daniel MIASA E & ANDRIAMAMPIANINA H.

« SPIRULINE: Nouveaux produits halieutiques du Sud et Sud- Ouest de Madagascar ».

MADA.ECONOMIE, n°45, pp3 1995

[11] RAMAMPIHERIKA Kotonirina Daniel. Docteur 3^e cycle Océanologie. Spécialiste de l'énergie renouvelable 1998.

[12] RAVELO Vololonavalona:

« Etude bio écologique du gisement naturel de spiruline de Belalanda », 2001

[13] RODIER Jean

« L'analyse des eaux », 7^{ème} édition, DUNOD 1984

[14] SARRUS, PH

« La spiruline : découverte des algues ».

Société SIFRAMEX, Montcalm Vauvert. 1985

[15] SITE WEB :

<http://tecfa.unige.ch/tecfa/teaching/UVLibre/9900/bin37/cult.htm>

<http://www.com.univ-mrs.fr/IRD/urcyano/activites/thspiru.htm>

<http://pehttp://perso.orange.fr/petites-nouvelles/manuel/SPIRULINE.htm>

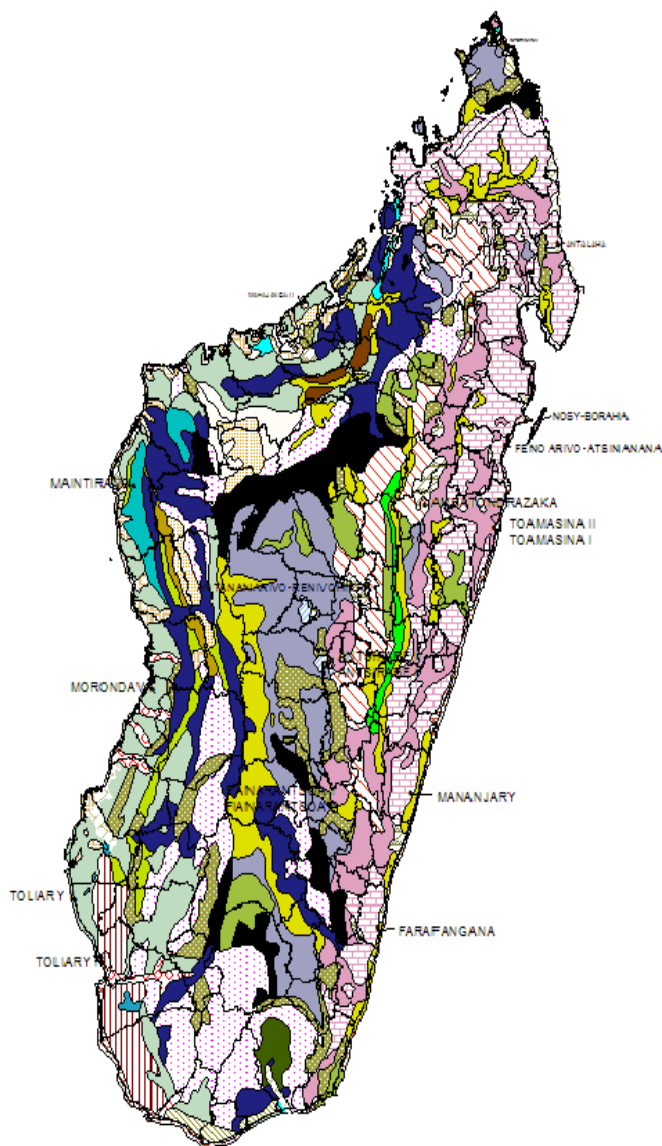
<http://perso.orange.fr/petites-nouvelles/manuel/SPIRULINE.htm>

<http://www.com.univ-mrs.fr/IRD/urcyano/activites/embiez.htm>

ANNEXES

ANNEXE I

CARTE PEDOLOGIQUE DE MADAGASCAR



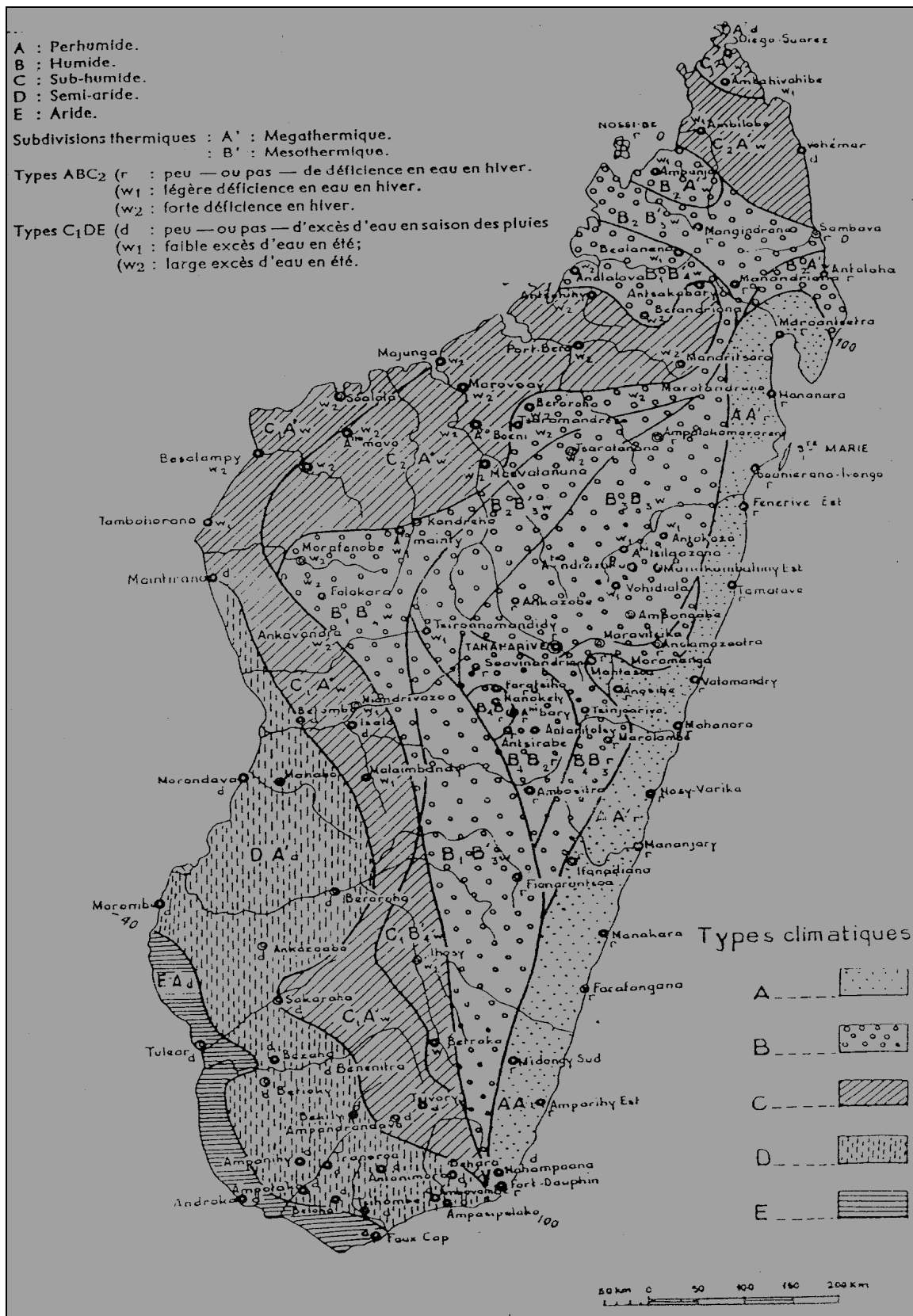
LEGENDE

- Association sols ferrallitiques jaune/rouge+rouge
- Association sols ferrallitiques jaune/rouge+rouge - Roches volcaniques, concrétions et cuirasses
- Association sols ferrallitiques rouge + jaune/rouge + sols peu évolués
- Association sols ferrallitiques rouge+jaune/rouge
- Complexe lithosols et ferrugineux tropicaux - Roches volcaniques
- Complexe lithosols et rouges méditerranéens
- Complexe lithosols et sols calcimorphes
- Complexe lithosols et sols peu évolués
- Complexe lithosols et sols peu évolués - Roches volcaniques"
- Complexe lithosols, sols calcimorphes et sols hydromorphes
- Complexe lithosols, sols calcimorphes, vertisols et rouges méditerranéens
- Complexe sols calcimorphes + sols groupe rouges méditerranéens
- Complexe sols ferrugineux tropicaux et peu évolués
- Complexe sols ferrugineux tropicaux et sols rouges méditerranéens
- Complexes sols alluviaux peu évolués + sols salés / Roches alluviales
- Sols brun eutrophes
- Sols calcimorphes
- Sols faiblement ferrallitiques et ferrisols
- Sols ferrallitiques jaune/rouge
- Sols ferrallitiques jaune/rouge - Roches volcaniques
- Sols ferrallitiques rouges
- Sols ferrugineux tropicaux
- Sols ferrugineux tropicaux - roches sableuses
- Sols hydromorphes (organiques et minéraux)
- Sols peu évolués alluviaux plus ou moins hydromorphes
- Sols peu évolués dunaires ou sableux
- Sols peu évolués et rankers
- Sols rouges méditerranéens, sols isohumiques et sols à tendance ferrallitique
- Sols salés et mangrove
- Vertisols

0 20 40
Kilomètres

Carte Pédologique de Madagascar (FTM, 1995)

ANNEXE II



Carte climatique de Madagascar établie par RIQUIER (DOMERGUE, 1976)

ANNEXE III

ANALYSE DE L'EAU

Détermination de TA et de TAC

1) MATERIEL ET REACTIFS

- Verrerie courante
- HCl ou H₂SO₄ N/50
- Phénophtaléine dans éthanol à 0.5%
- Hélianthe à 0.5%

2) PREPARATION

- Phénophtaléine à 0.5%
5g Phénophtaléine + 500ml éthanol +500 ml H₂O + Quelques gouttes de NaOH N/50 jusqu'à coloration
- Hélianthe à 0.5%
0.5g hélianthe + 100ml H₂O

3) METHODOLOGIE

PE = 100ml eau à analyser. Ajouter 1ou 2 gouttes de phénophtaléine (0.5%) :

- Si une coloration rose apparaît, verser petit à petit de l'acide à l'aide d'une burette jusqu'à décoloration complète : $V = \text{volume de l'acide versé en ml}$: $TA = V/5 \text{ meq/l}$

- Si une coloration rose n'apparaît pas : $TA = 0$. Ajouter 2 gouttes de hélianthe et titrer par l'acide jusqu'au virage de jaune à jaune orange. $V' = \text{volume de l'acide versé en ml}$: $TAC = (V' - 0.5) / 5 \text{ meq/l}$

Le TAC permet de connaître les teneurs suivantes :

| Sels dissous | mg/l par méq/l | Valeurs respectives des titres TA et TAC: Si | | | | |
|------------------------------------|----------------------|--|------------|------------|-------------|----------|
| | | TA = 0 | TA < TAC/2 | TA = TAC/2 | TA > TAC/2 | TA = TAC |
| CaO | 5,6 | 0 | 0 | 0 | 2 TA - TAC | TAC |
| Ca (OH) ₂ | 7,4 | | | | | |
| MgO | 4 | | | | | |
| Mg (OH) ₂ | 5,8 | | | | | |
| NaOH | 8 | | | | | |
| CaCO ₃ | 10 | 0 | 2TA | TAC | 2(TAC - TA) | 0 |
| MgCO ₃ | 8,4 | | | | | |
| Na ₂ CO ₃ | 10,6 | | | | | |
| Ca(HCO ₃) ₂ | 16,2 | TAC | TAC - 2TA | 0 | 0 | 0 |
| Mg(HCO ₃) ₂ | 14,6 | | | | | |
| NaHCO ₃ | 16,8 | | | | | |

La teneur en mg/l des sels = valeurs de TAC ou TA en méq/l multipliées par le chiffre de la 2^{ème} colonne.

ANALYSE DE L'EAU

Détermination de l'alcalinité totale

Méthode pHmétrique

1) PRINCIPE

Par définition, alcalinité totale ou Alc. tot = $[\text{HCO}_3^-] + 2 [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{H}_2\text{BO}_3]$ si

$5.3 < \text{PH} < 8.7$

Mais Alc.tot dépend de la valeur de PH et surtout de la concentration en chlorure $[\text{Cl}^-]$

2) MATERIEL ET REACTIFS

- Verrerie courante
- PH-mètre étalonné à PH= 4
- Burette de 50ml
- Solution de HCl (0.01N)
- Agitateur magnétique
- PE = 100ml de solution préparée des cristaux de sel marin à analyser ou de l'eau de mer

3) PREPARATION

- Solution de PE de sel marin à analyser

Dissoudre 0.1g de sel marin dans 100ml d'eau distillée...

4) METHODOLOGIE

PE = 100ml eau à analyser.

Dans un bécher de 200ml, introduire :

- * PE (100ml) échantillon à analyser
- * V = 25ml HCl (0.01N)

Mesurer le PH.

- * *Il faut que $2.9 < \text{PH} < 3.9$. Si la valeur de PH lue dans l'appareil n'est pas dans ce domaine, ajouter de HCl (0.01N) pour avoir un PH lu dans ce domaine.*

Le volume de HCl (0.01) versé sera : $V' = 25 + V$ (volume additionnel) en ml.

Résultats

$$\text{Alc tot} = 0.1 V' - 10 (100 + V') 10^{-\text{PH}} / \gamma_{\text{H}^+} \quad \text{meq / litre } \text{H}^+$$

γ_{H^+} est déterminé à partir du tableau suivant selon la $[\text{Cl}^-]$ préalablement déterminée.

| $[\text{Cl}^-]$ en g/l | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| γ_{H^+} | 0.845 | 0.782 | 0.770 | 0.760 | 0.755 | 0.752 | 0.752 | 0.754 | 0.754 | 0.758 |

ANALYSE DE L'EAU

Dosage de Ca

Méthode spectrophotométrique

1) MATERIEL ET REACTIFS

- Verrerie courante
- Spectrophotomètre UV réglé à 535 nm
- acide chloranilique à 0,1%
- MgSO₄ à 5% et à pH =2,75
- HCl N/100
- Solution étalon de Ca à 60mg/l

2) PREPARATION

Solution étalon de Ca à 60mg/ litre
0,2655g CaCl₂, 2H₂O + 1000ml eau

3) METHODOLOGIE

PE = 40ml eau à analyser.

1°) Tracé de la courbe d'étalonnage

Dans une série de fioles jaugées de 100ml numérotées : T et I à V , introduire :

| Numéro de fioles | T | I | II | III | IV | V |
|--------------------------------|--------------------------------|------|----|------|----|------|
| Sol étalon Ca (ml) | 0 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 |
| Eau distillée (ml) | 40 | 25 | 20 | 15 | 10 | 5 |
| Acide. HCl N/100(ml) | Qsq pour avoir pH entre 4 et 5 | | | | | |
| Acide chloranilique (ml) | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Correspondance en mg Ca /litre | 0 | 22,5 | 30 | 37,5 | 45 | 52,5 |

Laisser reposer 3 heures en agitant, compléter à 100ml avec eau distillée. Effectuer la mesure spectrophotométrique à la longueur d'onde de 535nm

2°) Mesure spectrophotométrique sur l'eau à analyser

Introduire dans une fiole jaugée de 100ml, 40ml d'eau à analyser .Amener à un pH entre 4 et 5 par addition de HCl N/100.Ajouter 28 ml acide chloranilique (0,1%).Laisser reposer 3 heures en agitant .Ajouter 12ml de MgSO₄ (5%).Compléter à 100ml .Effectuer la mesure spectrophotométrique.

Pour PE= 40ml :

On obtient [Ca] en mg /litre

[CaO] = 1,4 [Ca] mg /litre

ANALYSE DE L'EAU

Dosage de Mg

Méthode spectrophotométrique

1) MATERIEL ET REACTIFS

- Verrerie courante
- Spectrophotomètre UV réglé à 525 nm
- Jaune de thiazole ou jaune de titane à 0,5 g / l
- Solution saturée de CaSO_4
- Solution d'amidon soluble à 1% (à renouveler tous les jours)
- H_2SO_4 (1/36)
- NaOH 2N
- Solution étalon de Mg à 0,050g /l

2) PREPARATION

Solution étalon de Mg à 0,050 g/l

Attaquer 0,5 g de Mg métal par le mélange de 1 à 2ml H_2SO_4 concentré + HCl + 25ml eau .Evaporer jusqu' apparition de fumées blanches sulfuriques, reprendre le résidu par de l'eau distillée et étendre à 1 litre dans une fiole .Prélever 50ml de la solution obtenue et compléter à 500ml avec de l'eau distillée.

3) METHODOLOGIE

PE = 25ml eau à analyser.

1°) Tracé de la courbe d'étalonnage

Dans une série de fioles jaugées de 50ml numérotées : T et I à V, introduire :

| Numéro de fioles | T | I | II | III | IV | V |
|-------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Sol étalon Mg (ml) | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 |
| Eau distillée (ml) | 25 | 23 | 21 | 19 | 17 | 15 |
| H_2SO_4 (1/36) (ml) | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| Sol amidon (ml) | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| CaSO_4 (ml) | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Jaune de thiazole (ml) | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| NaOH 2N (ml) | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Eau distillée (ml) | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| Correspondance en mg /l | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 |

Laisser la coloration se développer pendant 5 mn et effectuer la mesure spectrophotométrique à la longueur d'onde de 525nm

2°) Mesure spectrophotométrique sur l'eau à analyser

PE = 25ml eau à analyser. Traiter comme lors de l'établissement de la courbe d'étalonnage .Effectuer la mesure spectrophotométrique dans les mêmes conditions

[Mg] = valeur lue en mg /litre

[MgO] = 1,6584 [Mg] mg /litre

ANALYSE DE L'EAU

Dosage de K^+

Méthode spectrophotométrique

1) MATERIEL ET REACTIFS

- Verrerie courante
- Spectrophotomètre UV réglé à 525 nm
- Réactif Cobaltinitrite de Na
- Réactif au NH_4SCN
- Solution étalon de K^+

2) PREPARATION

a) Préparation de réactif Cobaltinitrite :

Dissoudre 150 g de $NaNO_2$ dans 150ml d'eau chaude. Quand le liquide est à 40-50°C et que il s'est formé des cristaux de $NaNO_2$, ajouter 50g nitrate de cobalt et 50ml acide acétique à 50%. Agiter vigoureusement et introduire de l'air comprimé dans le liquide durant 30mn. Décanter pendant 2 heures. Filtrer. Mettre le filtrat dans un becher. Recueillir le résidu solide et mettre dans 50ml d'eau et chauffer jusqu'à 70-80°C pour dissoudre le solide. Faire une filtration et recueillir le filtrat que l'on verse dans le becher contenant le premier filtrat. Le volume total des filtrats doit être 300ml. Ajouter lentement à ce volume total, 250 ml de l'alcool à 96° en agitant constamment. IL SE FORME UN PRECIPITE DE COBALTINITRITE DE Na. Sur filtre de Buchner, essorer et laver avec 25ml d'alcool à 96°C et 25ml d'éther. Sécher à l'air.

Résultat : 50 à 60g de Cobaltinitrite de Na

Pour le réactif proprement dit nécessaire au dosage de K^+ :

- Cobaltinitrite de Na : 1g
- acide acétique à 1% : 5ml

b) Préparation de réactif au NH_4SCN

- Solution de NH_4SCN (d=1.1).....100ml
- Acétone400ml

c) Préparation de solution étalon de K^+

- K_2SO_42.20g
- Eau distillée.....1000ml
- Diluer 1ml de cette solution au 1/100

4) METHODOLOGIE

A. Courbe d'étalonnage :

Dans une série de 6 fioles de 100ml, préparer les dilutions suivantes :

| N° fioles | T | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|--|------|-------|------|------|------|------|------|
| Solution étalon de K ⁺ (0,01g/l) en ml | 0 | 0,5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| eau distillée en ml | 5 | 4,5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| Cobaltinitrite en ml | 1,25 | 1,25 | 1,25 | 1,25 | 1,25 | 1,25 | 1,25 |
| Agiter- laisser reposer 30mn- centrifuger à grande vitesse- recueillir le précipiter solide, Laver ce précipité par 5ml de liquide de lavage (alcool+éther+acide acétique), Laver ce précipiter par 5ml de liquide de lavage (alcool+éther) Laver ce précipité par 5ml de l'éther Sécher le précipité ainsi lavé Remettre ces précipités dans les tubes numérotés | | | | | | | |
| eau distillée en ml | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | | |
| Plonger les tubes dans un bain marie pendant 15mn jusqu'à dissolution complète du précipité | | | | | | | |
| eau distillée jusqu'à en ml | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| R2actif au KSCN (en ml) | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| correspondance en mg K ⁺ | 0 | 0,005 | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,05 |

Une coloration bleue doit se développer. Effectuer les mesures spectrophotométriques à la longueur d'onde de 590nm.

B. Mesure sur l'échantillon à analyser

PE= 100ml eau à analyser

Traiter comme on a fait sur les tubes de solutions étalons précédents.

Résultat :

$$[K^+] = \text{valeur lue} \times 10 \text{ mg de K}^+/\text{litre}$$

ANALYSE DE L'EAU

Dosage de Fe

Méthode spectrophotométrique

1) MATERIEL ET REACTIFS

- Verrerie courante
- Spectrophotomètre UV réglé à 540 nm
- HCl concentré
- Solution d'acétate d'ammonium
- Solution de chlorhydrate d'hydroxylamine à 100mg /l (renouveler chaque semaine)
- solution de Peroxodisulfate de K (K₂S₂O₈) à 40g/l
- solution de chlorhydrate de phénantroline1, 10 à 0,5%(à conserver au réfrigérateur)
- Solution étalon de Fe (0,01g/litre)

2) PREPARATION

-Solution étalon de Fe (0,01g/litre)

Peser exactement 100mg de fer métal, introduire dans une fiole conique, ajouter 5ml HCl concentré + 40ml eau distillée. Chauffer jusqu'à ébullition pour obtenir la dissolution complète. Laisser refroidir, transvaser dans une fiole jaugée de 100ml .Ajouter les eaux de lavage de la fiole conique, ajuster le volume. Prélever 1ml de cette solution et compléter à 100ml par de l'eau distillée

-Solution d'acétate d'ammonium

40mg acétate d'ammonium+ 50 ml acide acétique glacial. Compléter à 100ml par eau distillée

3) METHODOLOGIE

PE = 50ml eau à analyser.

1°) Tracé de la courbe d'étalonnage

Dans une série de fioles jaugées de 10ml numérotées : T et I à V, introduire

| Numéro de fioles | T | I | II | III | IV | V |
|--------------------------------|---|-----|-----|-----|------|----|
| Sol étalon Fe (ml) | 0 | 1 | 2 | 5 | 7,5 | 10 |
| Eau distillée (ml) | 50 | 49 | 48 | 45 | 42,5 | 40 |
| Peroxodisulfate de K (ml) | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Eau distillée | Porter à l'ébullition pendant 40mn .Refroidir- ajuster à 50ml | | | | | |
| acétate d'ammonium (ml) | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Phénantroline (ml) | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Correspondance en mg Fe /litre | 0 | 0,2 | 0,4 | 1 | 1,5 | 2 |

Laisse laisser à l'obscurité pendant 15mn. Effectuer les mesures spectrophotométriques à la longueur d'onde de 510nm.

2°) Mesure spectrophotométrique sur l'eau à analyser

Introduire dans une fiole conique de, 50ml d'eau à analyser .Refaire les mêmes procédures à partir de l'ajout de Peroxodisulfate de K

Pour PE= 50ml : **[Fe] en mg /litre= valeur lue**

Remarque

Pour le dosage de Fe total, acidifier le PE de 100mld' eau à analyser par 1ml H₂SO₄ (pH= 1)

Pour le dosage séparé de Fe (II) et de Fe (III), acidifier la P.E à pH =1.

ANALYSE DE L'EAU

Dosage de NO_2^- *Méthode spectrophotométrique*

1) MATERIEL ET REACTIFS

- Verrerie courante
- Spectrophotomètre UV réglé à 435 nm
- Ammoniaque concentré
- Réactif de Zambelli
- Solution étalon de NO_2^- à 0,0023g/litre

2) PREPARATION

-Solution étalon de NO_2^- à 0,0023g/litre

Dissoudre 0,4255 g de KNO_2 dans 1000ml d'eau distillée. Ajouter 1ml de chloroforme pour avoir une meilleure conservation. Prélever 1ml et compléter à 100ml avec de l'eau distillée.

- Réactif de Zambelli

Mettre dans une fiole jaugée de 100ml, 26 ml HCl concentré + 62,5ml eau distillée .Dissoudre 0,5g d'acide sulfanilique + 0,75g de phénol cristallisé tout en chauffant légèrement au bain- marie .Ajouter 13,5g de NH_4Cl et agiter jusqu' à dissolution .Refroidir et ajuster le volume à 100ml par l' eau distillée.

3) METHODOLOGIE

PE = 50ml eau à analyser.

1°) Tracé de la courbe d'étalonnage

Dans une série de fioles de 50ml numérotées : T et 1 à 5, introduire :

| Numéro de fioles | T | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--|----|-------|-------|------|------|------|
| Sol étalon NO_2^- (ml) | 0 | 1 | 5 | 10 | 15 | 20 |
| Eau distillée (ml) | 50 | 49 | 45 | 40 | 35 | 30 |
| Réactif Zambelli (ml) | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Attendre 10 mn | | | | | | |
| Ammoniaque concentrée (ml) | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Correspondance en mg NO_2^- /litre | 0 | 0,046 | 0,230 | 0,46 | 0,69 | 0,92 |

.Effectuer les mesures spectrophotométriques à la longueur d'onde de 435nm.

2°) Mesure spectrophotométrique sur l'eau à analyser

Introduire dans un bécher, la PE de 50ml d'eau à analyser .Traiter comme lors de l'établissement de la courbe d'étalonnage

Pour PE= 100ml : $[\text{NO}_2^-]$ en mg /litre= valeur lue

ANALYSE DE L'EAU

Dosage de NO_3^-

Méthode spectrophotométrique

1) MATERIEL ET REACTIFS

- Verrerie courante
- Spectrophotomètre UV réglé à 415 nm
- Solution de salicylate de Na à 0,5%
- H₂SO₄ concentré
- Tartrate double de Na et de K et de NaOH
- Solution étalon de NO₃⁻ à 0,005g/litre

2) PREPARATION

-Solution étalon de NO₃⁻ à 0,0023g/litre

Dissoudre 0,1631 g de KNO₃ dans 1000ml d'eau distillée. Prélever 50ml et compléter à 1000ml avec de l'eau distillée.

- Salicylate de Na

Peser 0,5g de salicylate de Na et compléter à 100g par de l'eau distillée (utilisable pour 24heures seulement)

Solution de tartrate double de N et de K et de NaOH

Dissoudre 400g de NaOH +60g de tartrate double de Na et de K dans 1000ml d'eau distillée .Refroidir (à conserver dans des flacons polyéthylène)

3) METHODOLOGIE

PE = 10ml eau à analyser.

1°) Tracé de la courbe d'étalonnage

Dans une série de fioles de 60ml numérotées : T et 1 à 4, introduire :

| Numéro de fioles | T | 1 | 2 | 3 | 4 |
|--|----|-------|------|--------|-------|
| Sol étalon NO ₃ ⁻ (ml) | 0 | 1 | 2 | 5 | 10 |
| Eau distillée (ml) | 10 | 9 | 8 | 5 | 0 |
| salicylate de Na à 0,5% (ml) | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Evaporer à sec à l'étuve réglée à 70-80°C | | | | | |
| H ₂ SO ₄ concentré (ml) | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Attendre 10mn et ajouter 15 ml eau distillée | | | | | |
| NaOH+tartrate de Na et K (ml) | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 |
| Correspondance en mg NO ₃ ⁻ /litre | 0 | 2,215 | 4,43 | 11,075 | 22,15 |

.Effectuer les mesures spectrophotométriques à la longueur d'onde de 415nm.

2°) Mesure spectrophotométrique sur l' eau à analyser

Introduire dans un bécher de 60ml, la PE de 10ml d'eau à analyser .Traiter comme lors de l'établissement de la courbe d'étalonnage.

Pour PE= 10ml : **[NO₃⁻] en mg /litre= valeur lue**

ANALYSE DE L'EAU

Dosage de SO_4^{2-}

Méthode spectrophotométrique

1) MATERIEL ET REACTIFS

- Verrerie courante
- Spectrophotomètre UV réglé à 650 nm
- HCl (1/10)
- Solution de Tween 20 (25%) $d=1.08$
- BaCl₂
- Solution étalon de SO_4^{2-} à 120mg/litre

2) PREPARATION

-Solution étalon de SO_4^{2-} à 120mg/litre

Dissoudre 0,1775 g de Na₂SO₄ dans 1000ml d'eau distillée...

- Solution de Tween 20 (25%)

Peser 25g de Tween 20 et compléter à 100g avec de l'eau distillée

Solution de BaCl₂

Dissoudre 10g de BaCl₂ dans 20ml de solution de Tween 20(25%) .Compléter à 100ml par de l'eau distillée

3) METHODOLOGIE

PE = 39ml eau à analyser.

1°) Tracé de la courbe d'étalonnage

Dans une série de tubes à essais numérotés : T et 1 à 6 , introduire :

| Numéro de fioles | T | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|----|----|----|----|----|----|----|
| Sol étalon SO_4^{2-} (ml) | 0 | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 | 10 |
| Eau distillée (ml) | 39 | 38 | 36 | 34 | 32 | 30 | 29 |
| HCl (1/10) (ml) | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| BaCl ₂ (ml) | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Correspondance en mg SO_4^{2-} /litre | 0 | 3 | 9 | 15 | 21 | 27 | 30 |

Agiter 2 ou 3 fois .Après 15mn de repos, agiter à nouveau

.Effectuer les mesures spectrophotométriques à la longueur d'onde de 650nm.

2°) Mesure spectrophotométrique sur l'eau à analyser

Introduire dans un tube à essai, la PE de 39ml d'eau à analyser + 1ml HCl (1/10) + 5ml BaCl₂.

Agiter 2 ou 3 fois .Après 15mn de repos, agiter à nouveau

.Effectuer les mesures spectrophotométriques à la longueur d'onde de 650nm. Pour PE= 10ml :

$[\text{SO}_4^{2-}]$ en mg /litre= valeur lue

ANALYSE DE L'EAU

Dosage de PO_4^{3-} *Méthode spectrophotométrique*

1) MATERIEL ET REACTIFS

- Verrerie courante
- Spectrophotomètre UV réglé à 700 ou 800 nm
- Acide ascorbique
- Solution de Molybdate d'ammonium à 40g/litre
- H_2SO_4 (20%)
- Solution de tartrate double de K et d'antimoine
- Solution d'acide oxalique à 10%
- Réactif révélateur de PO_4^{3-}
- Solution étalon de PO_4^{3-} à 1mg/litre

2) PREPARATION

-Solution étalon de PO_4^{3-} à 1mg/litre

Dissoudre 0,2226g de NaH_2PO_4 préalablement séché à l'étuve réglée à 100°C dans 100ml d'eau distillée. Prélever 30ml et compléter à 300ml avec de l'eau distillée...

- Solution de H_2SO_4 (20%)

Peser 20g de H_2SO_4 et compléter jusqu'à 100g avec de l'eau distillée

Solution de Molybdate d'ammonium à 40 g/litre

Dissoudre 40g de Molybdate d'ammonium dans 1000ml eau. Conserver dans un récipient en polyéthylène et à 4°C.

Solution de tartrate double de K et d'antimoine

Dissoudre 0,274g de solution de tartrate double de K et d'antimoine dans 100ml d'eau distillée

Acide ascorbique

Dissoudre 5g d'acide ascorbique dans 100ml d'eau distillée

Réactif révélateur de PO_4^{3-}

Mélanger 50ml H_2SO_4 (20%)+ 5ml de solution de tartrate double de K et d'antimoine + 15 ml solution de Molybdate d'ammonium à 40g/litre. Compléter à 100ml avec de l'eau distillée. A conserver au réfrigérateur à 4°C

3) METHODOLOGIE

PE = 20ml eau à analyser.

1°) Tracé de la courbe d'étalonnage

Dans une série de fioles jaugées de 25ml numérotés : T et 1 à 5, introduire :

| Numéro de fioles | T | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|----|----|----|----|----|----|
| Sol étalon PO_4^{3-} (ml) | 0 | 1 | 5 | 10 | 15 | 20 |
| Eau distillée (ml) | 20 | 19 | 15 | 10 | 5 | 0 |
| acide ascorbique (ml) | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Réactif révélateur de PO_4^{3-} (ml) | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |

| | | | | | | |
|---|---|---------------------|--------|--------|-------|--------|
| Bien mélanger | | | | | | |
| Eau distillée (ml) | 0 | 1 | 5 | 10 | 15 | 20 |
| Attendre 30mn pour une stabilisation de la coloration | | | | | | |
| Correspondance en mg PO_4^{3-} /litre | 0 | 2,742. 10^{-3} | 0,0137 | 0,0274 | 0,041 | 0,0548 |

.Effectuer les mesures spectrophotométriques à la longueur d'onde de 700 ou 800nm.

2°) Mesure spectrophotométrique sur l'eau à analyser

La PE de 20ml d'eau à analyser, doit avoir pH= 7, ajuster si nécessaire. Traiter comme lors du tracé de la courbe d'étalonnage

. Pour PE= 20ml : **$[\text{PO}_4^{3-}]$ en mg /litre= valeur lue**

ANALYSE DE L'EAU

Dosage de NaCl

Méthode conductimétrique

1) MATERIEL ET REACTIFS

- Verrerie courante
- Conductimètre étalonné
- Burette de 50 ml
- Agitateur magnétique
- Solution de nitrate d'Ag (16 grammes/ litre)
- Solution d'étalonnage KCl (0,1M) de conductimètre
- PE = 100 ml de solution préparée des cristaux de sel marin à analyser

2) PREPARATION

-Solution de PE de sel marin à analyser-

Dissoudre 0,1grammes de sel marin dans 100ml d'eau distillée...

- Solution d'étalonnage KCl (0,1M) de l'appareil

Peser 7,456g de KCl et dissoudre dans 200ml de l'eau distillée

3) METHODOLOGIE

PE = 100ml eau à analyser.

1°) Etalonnage du conductimètre :

Rincer plusieurs fois la cellule électrochimique avec de l'eau distillée, puis la plonger dans 100ml de solution de KCl (0,1M).

Mesurer la température (t°) de cette prise de volume de KCl (0,1M)

Faire la mesure de conductivité (en $\mu\text{S/cm}$) tout en réglant k pour que l'appareil indique la valeur normalisée de conductivité pour la même température (t°) mesurée selon le tableau suivant.

| | | | | | | |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $T^\circ C$ | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| $\sigma (\mu\text{S/cm})$ | 10480 | 10720 | 10950 | 11190 | 11430 | 11670 |

| | | | | | | |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|----|
| $T^\circ C$ | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 |
| $\sigma (\mu\text{S/cm})$ | 11190 | 12150 | 12390 | 12640 | 12880 | |

| | | | | | | |
|---------------------------|----|----|----|----|----|----|
| $T^\circ C$ | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 |
| $\sigma (\mu\text{S/cm})$ | | | | | | |

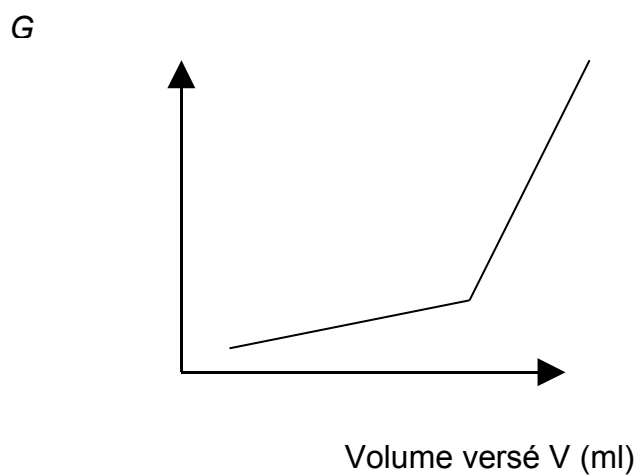
2°) Dosage conductimétrique de la PE d'échantillon à analyser:

Mettre la PE = 100ml à analyser dans un bécher de 200ml et la solution titrante de nitrate d'Ag (16 grammes/ litre) dans la burette ;

Plonger l'électrode dans le b  cher    PE .tout en versant petit    petit la solution titrante, compléter le tableau suivant :

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|-------|----|----|----|
| Volume V (ml) de AgNO ₃ versé | 0 | 3 | 6 | | 43 | 47 | 50 |
| Conductance G (μS) | | | | | | | |

Tracer la courbe $G = f(V)$. Repérer le point d'équivalence (voir exemple de courbe suivante)



ANALYSE DE L'EAU

Dosage de Cl^- *Méthode spectrophotométrique*

1) MATERIEL ET REACTIFS

- Verrerie courante
- Spectrophotomètre UV réglé à 480 nm
- Solution de thiocyanate mercurique
- Solution de nitrate ferrique
- Réactif
- Solution tampon de Na_2SO_4
- Solution étalon de NaCl
- P.E = 3ml échantillon d'eau à analyser

2) PREPARATION

-Solution de thiocyanate mercurique

Dissoudre 4,17 g de thiocyanate mercurique dans 1000ml de méthanol.

- Solution de nitrate ferrique

Dissoudre 202g de nitrate ferrique, $9\text{H}_2\text{O} + 31,5\text{g HNO}_3$ dans 1000ml d'eau distillée À conserver dans un flacon brun.

Réactif

Mélanger 150ml de thiocyanate mercurique + 150 ml nitrate ferrique + 1ml Brij 35. Compléter à 1000ml avec de l'eau distillée

Solution tampon de Na_2SO_4

Dissoudre 8 g de Na_2SO_4 1000ml d'eau distillée.

Solution étalon de NaCl

A réaliser par des prises de masses de NaCl solide tel que une concentration de 20g/litre de Cl^- correspond à une prise de masse de 33,16 g de NaCl à dissoudre dans 1000ml d'eau distillée.

3) METHODOLOGIE

1°) Tracé de la courbe d'étalonnage

Dans une série de fioles de 150ml numérotées : T et 1 à 6 , introduire :

| Numéro de fioles | T | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|--|-----|--------|--------|--------|-------|--------|-------|
| Masse de NaCl (g) | 0 | 0,1243 | 0,4974 | 1,2435 | 2,487 | 3,7305 | 4,974 |
| Eau distillée (ml) | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| Solution tampon (ml) | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 |
| Mélanger pendant 2mn | | | | | | | |
| Réactif (ml) | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| Eau distillée (ml) | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 |
| Qsq | | | | | | | |
| Correspondance en g Cl^- /litre | 0 | 0,5 | 2 | 5 | 10 | 15 | 20 |

.Effectuer les mesures spectrophotométriques à la longueur d'onde de 480nm.

2°) Mesure spectrophotométrique sur l'eau à analyser

Introduire dans une fiole jaugée de 150 ml, la PE de 3ml d'eau à analyser .Traiter comme lors de l'établissement de la courbe d'étalonnage.

Pour PE= 3ml : **[Cl] en g /litre= valeur lue**

ANALYSE DE L'EAU

Détermination de la turbidité

1) MATERIEL ET REACTIFS

- Etuve réglée à 105°C
- Spectrophotomètre UV réglé à 720 nm
- Verrerie courante
- Solution de HCl
- Prélèvement de l'argile sec comme étalon de sédiments
- P.E = 100ml échantillon d'eau à analyser

2) PREPARATION

-Etalon de sédiment

Laver le prélèvement d'argile avec une solution HCl dilué puis par de l'eau distillée.

Sécher dans l'étuve

3) METHODOLOGIE

1°) Tracé de la courbe d'étalonnage

Dans une série de 7 files de 100ml numérotées : T et 1 à 5 , introduire :

| Numéro de tubes | T | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--|------------------------------|----|----|-----|-----|-----|
| Masse d'argile sec traitée à l'HCl en mg | 0 | 20 | 50 | 100 | 150 | 200 |
| Eau distillée (ml) | Ajouter et compléter à 100ml | | | | | |
| Correspondance en mg/litre | 0 | 2 | 5 | 10 | 15 | 20 |

Effectuer les mesures spectrophotométriques à la longueur d'onde de 720nm.

2°) Mesure spectrophotométrique sur l' eau à analyser

Prendre la PE de 100ml d'eau à analyser .Traiter comme lors de l'établissement de la courbe d'étalonnage.

Pour PE= 100ml :

Turbidité = valeur lue en mg de sédiments/ litre

Analyses des sols de mares de Toliara

1. EXTRACTION DES SELS DISSOUS

- 1) Réduire en de petits morceaux les portions de sols.
- 2) Peser 20 grammes de ces petits morceaux de sol
- 3) Comme la solubilité est grande en utilisant de l'eau chaude, chauffer un litre d'eau (t° 40°C)
- 4) Dissoudre la masse de sol pesée avec le maximum d'agitation.
- 5) Filtrer et laver avec un peu d'eau chaude (le volume totale d'eau doit être 1 litre)

2. ANALYSES CHIMIQUES

Les constituants des échantillons de sol de mares de Toliara à analyser :

- ✓ Carbonate de Na (CO_3^{2-} et Na^+)
- ✓ Sel NaCl (Cl^- Na^+)
- ✓ Ca et Mg
- ✓ Fe et PO_4^{3-}

Procéder selon la méthode vue pour l'analyse de l'eau

ANNEXE IV

Quelques indications sur les avantages de l'utilisation de la spiruline

Utiliser comme complément alimentaire

C'est un aliment extraordinaire.

En effet avec plus 115 micro-nutriments, la spiruline représente probablement l'aliment le plus complet de la planète Terre. Avec plus de 60 % de son poids, l'algue bleue présente un taux protéique les plus élevés du règne végétal. La viande de bœuf (22%), le soja (40%), et les œufs (45%). La spiruline est à la fois :

- un nutriment énergétique (sucres ou glucides)
- un nutriment constructeur (protéines)
- un nutriment protecteur (vitamine oligo-éléments et sels minéraux).

Complément alimentaire sans additifs, la spiruline convient à tous les âges, du nourrisson sportif, de l'adolescent à la personne âgée, de l'enfant à la femme enceinte.

Il convient de noter que, de plus :

- la spiruline étant dépourvu de cellulose est très facile à digérer,
- contrairement aux protéines animales, elle ne contient que 5% de graisse.
- 4 grammes de spiruline couvrent 100% de nos besoins quotidiens en vitamine A.

On consomme la spiruline sous forme de spaghetti ou de poudre, les prises se font de préférence le matin et/ou à midi avant ou entre les repas. La spiruline prise entre les repas peut calmer une petite faim ou pallier à une baisse d'énergie.

Pour les adultes, comme pour les enfants, il suffit de quelques grammes de spiruline (*Arthrospira platensis*) par jour (4 à 10g) pour apporter l'organisme les éléments nutritifs essentiels.

La dose la plus fréquemment recommandée est de **4 grammes par personne et par jour** soit **1 cuillerée à soupe rasée par personne et par jour de préférence le mati**

Utiliser comme médicament contre :

1. Anémie

Grâce à sa grande teneur en fer, en cuivre, en acide aminé, en acide folique en vitamine B12, la spiruline favorise la synthèse de l'hémoglobine, un composant essentiel des globules rouges et elle permet donc de lutter contre l'anémie.

2. Affections veineuses (*varices, jambes lourdes, œdème (rétention de liquide), hémorroïdes*)

Grâce à ses principes actifs, la spiruline améliore la circulation de système veineux et fortifie les parois capillaires.

3. Antibiotique

Par son extrait à l'eau chaude « calcium spirulan » ou Ca-SP, la spiruline permettait d'inhiber la réplication de plusieurs virus à enveloppe, dont le virus herpès simple du type 1, le cytomégalo virus humain, le virus de rougeole et des oreillons, le virus de la grippe A.

4. Anorexie (*diminution ou perte d'appétit*)

Grâce à ses rapports importants en vitamines A et E, en outre des minéraux comme le fer, l'iode, tryptophane qui nécessaire au bon fonctionnement de l'intestin, la spiruline stimule l'appétit et active le métabolisme.

5. Artériosclérose (*durcissement progressif des artères*)

La spiruline active le nettoyage de l'organisme et purifie le sang. Elle dissout l'acide urique fluidifie le sang.

Les acides gras essentiels sont indispensables à la réponse immunitaire et régulent les réactions inflammatoires. Leur métabolisme est altéré chez la personne âgée. Ils contribuent à réduire les phénomènes de thrombose et d'artériosclérose.

6. Atonie digestive (*digestion manquant de vitalité d'énergie*)

Le magnésium est très important à la contraction et au développement des muscles, la spiruline facilite la digestion et diminue la constipation.

7. Epuisement nerveux et physique, Asthénie (*Etat de manque ou de perte de force qui apparaît spontanément, sans relation directe avec un effort précise*)

La spiruline nourrit, tonifie et revitalise le corps humain.

8. Baisse de vision et maladie des yeux (xérophtalmie)

Très bonne source en vitamine A (dix fois plus que le carottes et de la lutéine transformé par l'organisme en la spiruline vitamine A ou en rétinol, la spiruline contribue au processus de la vision. Elle permet à la vision nocturne et à la résistance aux fonctions, spécialement de la conjonctive de l'œil et de la cornée qu'elle protège contre les infections et la xérophtalmie.

9. Cancer

La spiruline ou ses extraits permettent d'empêcher ou d'inhiber des cancers chez l'humain ou l'animal.

L'organisme possède des moyens de lutte contre les radicaux libres. Son système de défense dépend pour beaucoup de vitamines antioxydants, des caroténoïdes et d'autres micronutriments. La spiruline peut considérablement aider les cellules par l'apport des facteurs tels que la vitamine E, les caroténoïdes impliqués dans ce système de défense contre les radicaux libres.

10. Cardiaques

Grâce à la présence du potassium qui joue un rôle essentiel dans la perméabilité de membranes cellulaires, dans l'utilisation des protéines et de sucres, la spiruline régularise le rythme cardiaque la

tension artérielle. Un cœur hypertrophie peut se réduire à l'aide d'une consommation de spiruline qui renferme de la vitamine B1 qui est utile à toutes les maladies souffrant de troubles cardiaques mal définis (réduction de l'hypertrophie).

11. Cholestérol

La présence de méthionine (substance lipotrope c'est-à-dire qui a une action de protection contre le cholestérol) en réduisant son dépôt dans les artères, la spiruline combat donc le cholestérol, diminue la formation de graisse dans le sang.

12. Dépression nerveuse

Grâce à sa composition phénylalanine, la spiruline possède un effet antidépresseur.

13. Diabète

Grâce à la présence :

- de la vitamine B1
- de l'arginine (acide aminé, qui grâce à son effet similaire à celle de la glucoquinase ou insuline végétale),
- du zinc (protecteur de l'ARN et ADN, capteurs génétiques de notre corps, également antioxydant majeur), la spiruline complète l'action de l'insuline en faisant baisser le taux de glucose s'il est élevé, maintient le taux normale de sucre dans le sang et régularise la tension artérielle en traitement complémentaire du diabète.

14. Douleur lombaire

Grâce à la présence du groupe de vitamine B, la spiruline guérit la douleur lombaire.

15. Fatigue physique et intellectuelle

Bonne source en fer, la spiruline est un aliment défatigant qui accroît la résistance à la fatigue, aux infections et au stress. Il participe à la transformation des lipides et des glucides en énergie.

16. Herpès

Lysine joue un rôle dans la prévention de l'herpès, accroît les capacités cérébrales, joue un rôle fondamental dans la composition des protéines de l'organisme, intervient dans la croissance et la régénération des tissus, dans la production des enzymes, hormones et anticorps.

17. Hémorroïdes

La consommation de 5 grammes par jour pendant 3 semaines de notre spiruline fait disparaître irréversiblement l'hémorroïde.

18. hépatites

Avec son apport en micro nutriments de haute valeur biologique, la spiruline permet d'améliorer l'état du foie, pour qu'il recouvre ses fonctions d'une manière naturelle.

19. Insomnie

Grâce à sa composition tryptophane (élément indispensable dans la composition du mécanisme biochimique du sommeil), la spiruline lutte contre l'insomnie et elle favorise un sommeil régulateur.

20. Ménopause

La spiruline soutient l'organisme pendant la ménopause.

21. Migraines, rhumatisme

La présence du phénylalanine dans sa composition, permet à la spiruline soulager et de prévenir les douleurs (migraines,...crampes).

22. Névrites

La spiruline joue un rôle important dans la guérison de névrites en tant qu'une bonne source de vitamine B1 ou vitamine antinévritique.

23. Nervosité, stresse

Le tryptophane, un des acides aminés composants de la spiruline est indispensable dans la composition des mécanismes biochimiques du sommeil. C'est la raison de l'efficacité de la spiruline sur le combat contre la nervosité.

24. Obésité

La phénylalanine en quantité importante qui serait le catalyseur dans l'organisme de l'hormone qui envoie au cerveau un signal de satiété donc la spiruline réduit la sensation de faim et elle peut aider efficacement à couper la faim d'une manière naturelle et simple. Elle fait partie des produits naturels amaigrissants pour lutter contre l'obésité et l'augmentation du poids.

25. Sinusite

Par sa forte teneur en provitamine A (10 fois plus que celle de carotte) fortifie les muqueuses et augmente les défenses de l'organisme. La consommation de 4 grammes par jour pendant 12 jours de notre spiruline fait guérir la sinusite.

26. Hypertension

Bien dotée en acides gras, notamment en acide gamma linolénique, la spiruline lutte efficacement contre l'hypertension, préviennent les accidents cardiovasculaires et de nombreuses autres maladies.

27. Vieillesse précoce

Une grande source de bêta carotène, de vitamine E (composés synergiques antioxydants) de méthionine (aliment antioxydant). Contrôleur de radicaux libres), la spiruline agit efficacement contre le vieillissement et les problèmes dégénératifs et la dégénérescence des phanères (peau, cheveux, ongles).

28. Le SIDA

Grâce à son extrait calcium spirulan Ca-SP (inhibiteur de la réplication du virus VIH-1) et au pigment bleu Phycocyanine stimulateur de l'hématopoïèse (création du sang c'est-à-dire des globules blancs qui constituent le système immunitaire cellulaire et globules rouges qui assurent l'oxygénation de l'organisme), la spiruline un puissant tonifiant immunitaire, ne fait que stimuler le système immunitaire, mais encore elle améliore la capacité de l'organisme à produire de nouvelles cellules sanguines.

TABLE DES MATIERES

LISTE DES ABREVIATIONS

LISTE DES FIGURES

LISTE DES PHOTOS

LISTE DES TABLEAUX

GLOSSAIRE

| | |
|---|-----------|
| INTRODUCTION..... | 1 |
| Thème de l'étude..... | 3 |
| I.1.Avant propos : | 3 |
| I.2.Intérêt du thème d'étude : | 3 |
| I.3.Contexte actuel de la culture de spiruline | 3 |
| Chapitre II.Généralités de la spiruline..... | 4 |
| II.1.Historique et origine de la spiruline [3], [5], [14], [15]..... | 4 |
| II.2.Carte d'identité de la spiruline [8], [15]..... | 5 |
| II.3.Composition physico chimique de la spiruline [4]..... | 6 |
| II.4.Qualités microbiologiques de la spiruline [4]..... | 9 |
| II.5.Caractéristiques de la Spiruline [4]..... | 10 |
| II.5.1. Les pigments et leurs propriétés [11]..... | 10 |
| II.5.2. Les chlorophylles et leurs propriétés [11]..... | 12 |
| II.6.Utilisation de la spiruline dans le Monde [1], [5], [6], [9]..... | 13 |
| II.6.1.La spiruline dans l'alimentation humaine..... | 13 |
| II.6.2.La spiruline dans l'alimentation animale | 14 |
| II.6.2.1.Utilisation en aquaculture | 14 |
| II.6.2.2.Utilisation de la spiruline dans l'alimentation des volailles..... | 14 |
| II.6.3.Utilisations thérapeutiques de la spiruline..... | 14 |
| II.6.3.1.Action de la spiruline contre le cancer | 15 |
| II.6.3.2.Action de la spiruline sur le derme :..... | 16 |
| II.6.4.Purification des eaux usées | 16 |
| II.6.5. Autres utilisations :..... | 18 |
| Chapitre III. Les conditions nécessaires pour le | |
| développement de la spiruline..... | 19 |
| III.1.Les éléments nutritifs nécessaires à la croissance de la spiruline [11]..... | 19 |
| III.2.Autres conditions nécessaires pour le développement de la spiruline [4], [11].. | 19 |

| | |
|--|-----------|
| III.2.1.Climat | 19 |
| III.2.2.Sols riches en bicarbonate :..... | 20 |
| III.2.3. Agitation..... | 20 |
| III.3. Conclusion :..... | 21 |
| Chapitre IV. Généralités sur l'étude physico-chimique des eaux | 22 |
| IV.1.Rappels sur les eaux | 22 |
| IV.1.1.Généralités | 22 |
| IV.1.2. Les composés minéraux | 22 |
| IV.1.3.Les composés organiques..... | 22 |
| IV.2. Description de quelques paramètres de base pour l'eau | 23 |
| IV.2.1.Salinité..... | 23 |
| IV.2.2.Demande Biochimique en Oxygène pendant 5 jours (DBO5)..... | 23 |
| IV.2.3.Demande chimique en oxygène (DCO)..... | 23 |
| IV.2.4.Turbidité..... | 23 |
| IV.2.5.Matières en suspension (M.E.S)..... | 23 |
| IV.2.6.Titre alcalimétrique (TA) et titre alcalimétrique complet (TAC)..... | 23 |
| IV.3. Conclusion de la première partie..... | 24 |
| Chapitre V. Objectifs de l'étude expérimentale | 25 |
| V.1.Introduction..... | 25 |
| V.2.Présentation des objectifs de l'étude expérimentale..... | 25 |
| Chapitre VI. Présentation des sites de la spiruline à Tuléar | 26 |
| VI.1.Résultats des enquêtes..... | 26 |
| VI.1.1.délimitation de la zone d'étude :..... | 26 |
| VI.1.1.1. Mares de Belalanda [12]..... | 27 |
| VI.1.1.2.Mares d' Ankoronga [11]..... | 29 |
| VI.1.2.Origine des eaux..... | 34 |
| VI.2.Résultats des visites..... | 34 |
| VI.2.1.Observations sur terrain : | 34 |
| VI.2.2.prélèvement des échantillons et mesure sur place de pH et Salinité.... | 38 |
| VI.2.3. Résultats des mesures : | 39 |
| VI.3.Conclusion :..... | 40 |
| Chapitre VII. Caractérisation effectuée à partir des prélèvements des eaux de mares d'Ankoronga | 42 |
| VII.1.Objectifs : | 42 |

| | |
|---|-----------|
| VII.2.Prélèvements | 42 |
| VII.3.Méthodes d'analyse utilisées : | 42 |
| VII.4. Résultats des analyses | 43 |
| VII.4.1.Pour la station A : | 43 |
| VII.4.2. Pour la station B : | 47 |
| VII.5.Interprétations des résultats : | 49 |
| VII.6.Interprétation des résultats expérimentaux sur le sol..... | 51 |
| VII.7.Etude suivant le bilan ionique..... | 52 |
| VII.7.1.méthode de programmation informatique utilisée : | 52 |
| VII.7.2.Les résultats de l'établissement du bilan ionique des eaux de prélèvements analysés au laboratoire : | 55 |
| VII.7.3.Conclusion : | 56 |
| Chapitre VIII.Propositions des normes sur les caractérisations physico- chimiques des eaux propices au développement de la spiruline. | 57 |
| VIII.1.Introduction..... | 57 |
| VIII.2.Normes : | 57 |
| VIII.2.1.Une température ambiante..... | 57 |
| VIII.2.2.Un éclairage permanent..... | 57 |
| VIII.2.3.Une agitation du milieu..... | 57 |
| VIII.2.4.pH de l'eau..... | 58 |
| VIII.2.5.Des éléments nutritifs essentiels..... | 58 |
| VIII.2.6.Source de gaz carbonique | 58 |
| VIII.2.7.Salinité de l'eau | 58 |
| VIII.2.8.Les compositions ioniques de l'eau : | 58 |
| VIII.2.8.1.Les anions : | 58 |
| VIII.2.8.2.Les cations : | 59 |
| VIII.3.Applications des normes : | 59 |
| VIII.3.1.Pour la création des milieux naturels : | 59 |
| VIII.3.2.Exemple des caractères physico chimiques d'un milieu de la culture d'un bassin en cours de production [15]..... | 61 |
| VIII.3.3.Exemple des caractères chimiques recommandés pour un milieu de culture neuf (pH proche de 8) convenant pour des eaux de dureté nulle ou faible : [15]..... | 62 |
| VIII.4.Conclusion de la deuxième partie:..... | 62 |

| | |
|--|------------------------------|
| Chapitre IX. Impacts socio-écologique et économique de de la spiruline..... | l'exploitation 62 |
| IX.1.Intérêts de la production de la spiruline..... | 62 |
| IX.2.Impacts d'ordre socio- écologique..... | 62 |
| IX.3.Impacts d'ordre économique | 62 |
| Chapitre X.Spiruline et environnement..... | 64 |
| X.1.Analyse du problème de traitement des eaux usées [15]..... | 64 |
| X.2.Systèmes d'assainissement des eaux usées avec purges [15]..... | 64 |
| X.3.Systèmes d'assainissement des eaux usées sans purges [15]..... | 65 |
| CONCLUSION GENERALE | 66 |
| ANNEXES | |
| TABLE DES MATIERES | |

Auteur: RAKOTOSOA Patricia

**Titre: CARACTERISATION DE LA PHYSICO-CHIMIE DES EAUX DE MARES
DES ENVIRONS DE TULEAR FAVORISANT LE DEVELOPPEMENT
NATUREL DE LA SPIRULINE**

Nombre de pages : 67

Nombre de tableaux : 23

Nombre de figures : 13

Nombre de photos : 19

Nombre de cartes : 03

RESUME :

Ce travail a été demandé par Monsieur Jean Yves MORVAN, Directeur de la société « La Saline » de Diégo, dans le cadre de la caractérisation de la physico chimie des eaux de mares des environs de Tuléar favorisant le développement naturel de la spiruline. Cette étude est axée essentiellement sur la caractérisation et l'analyse des caractéristiques physico-chimiques de ces eaux, ceci dans le but précis de les normaliser en vue d'une vulgarisation ultérieure de la culture de la spiruline dans tout Madagascar. La première démarche suivie consiste à une revue bibliographique, à des enquêtes, à des prélèvements des eaux sur terrain.

Les eaux de mares de Tuléar, dans lesquelles prolifère la spiruline ont des caractéristiques suivantes : un pH entre 8 et 11 ; une température entre 19 à 35°C ; et à une salinité de 25 à 40 ppm.

Des analyses physico-chimiques ont été effectuées au laboratoire de Département de Génie Chimique de l' ESPA Vontovorona sur des échantillons d'eau et de sol prélevés à Akoronga (Tuléar). A partir des résultats obtenues, nous avons pu formuler une normalisation des caractéristiques physico-chimiques des eaux de culture pour un développement naturel optimal de la spiruline.

Mots clés: Spiruline, salinité, anions, cations, eaux de mares, spectrophotométrie, nutriment.

ABSTRACT:

This work has been asked by Sir Jean Yves MORVAN, Director of the "La Saline" corporation of Diego, in framework of physico-chemical characterization of water hole about in Tuléar favoring the development natural of Spirulina. This study is oriented on the physico-chemical characterization of these waters, this aims at a later regional culture. The follow up gait consisted in reviewing libraries, investigation and removing waters on the field.

The water hole of Tuléar, in which ones the Spirulina proliferates, have the following characteristics: a pH between 8 and 11, a temperature between 19 to 35°C, and have salt measure between 25 to 40 ppm.

Some physico-chemical analyses were effectuated on samples of water, and the ground, which allowed following the evolution of the Spirulina culture. As a results showed that water hole, we can to put a normalization characteristics physico-chemical of these waters to development natural optimum of Spirulina.

Key words: Spirulina, salinity, anion, cation, water hole, spectrophotometer, nutriment

RAPPORTEUR : Ignace RAKOTOARIVONIZAKA, Docteur Ingénieur

CO-RAPPORTEUR: Kotonirina D. RAMAMPIHERIKA, Docteur en Energie renouvelable

ADRESSE : Lot 08 A2 Ter Ambohipierenana, AMBOSITRA 306.

Tel: +261 33 14 305 94

E- mail: soapatricia@yahoo.fr