

UNIVERSITE MOHAMMED V - RABAT
FACULTE DE MEDECINE ET DE PHARMACIE - RABAT-

ANNEE: 2016

THESE N°: 69

LES ALGUES, UTILISATIONS
ET INTERETS POUR LA SANTE

THÈSE

Présentée et soutenue publiquement le :

PAR

Mlle. Rawia MAMOUNI
Née le 20 février 1991 à Mohammedia

Pour l'Obtention du Doctorat en Pharmacie

MOTS CLES : Algue – Algoculture – Usages – Transformation et santé.

JURY

Mr. M. ZOUHDI Professeur de Microbiologie		PRESIDENT
Mr. A. LAATIRIS Professeur de Pharmacie Galénique		RAPPORTEUR
Mme. S. EL HAMZAOUI Professeur de Microbiologie	}	JUGES
Mme. S. TELLAL Professeur de Biochimie		

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

"سبحانك لا علم لنا إلا ما علمتنا

إننا أنت العليم الحكيم"

سورة البقرة: الآية: 31

صِدْقَةَ اللَّهِ الْعَظِيمَةَ



**UNIVERSITE MOHAMMED V DE RABAT
FACULTE DE MEDECINE ET DE PHARMACIE - RABAT**

DOYENS HONORAIRES :

1962 – 1969 : Professeur Abdelmalek FARAJ
1969 – 1974 : Professeur Abdellatif BERBICH
1974 – 1981 : Professeur Bachir LAZRAK
1981 – 1989 : Professeur Taieb CHKILI
1989 – 1997 : Professeur Mohamed Tahar ALAOUI
1997 – 2003 : Professeur Abdelmajid BELMAHI
2003 – 2013 : Professeur Najia HAJJAJ - HASSOUNI

ADMINISTRATION :

Doyen : Professeur Mohamed ADNAOUI
Vice Doyen chargé des Affaires Académiques et étudiantes
Professeur Mohammed AHALLAT
Vice Doyen chargé de la Recherche et de la Coopération
Professeur Taoufiq DAKKA
Vice Doyen chargé des Affaires Spécifiques à la Pharmacie
Professeur Jamal TAOUFIK
Secrétaire Général : Mr. El Hassane AHALLAT

**1- ENSEIGNANTS-CHERCHEURS MEDECINS
ET
PHARMACIENS**

PROFESSEURS :

Mai et Octobre 1981

Pr. MAAZOUZI Ahmed Wajih	Chirurgie Cardio-Vasculaire
Pr. TAOBANE Hamid*	Chirurgie Thoracique

Mai et Novembre 1982

Pr. BENOSMAN Abdellatif	Chirurgie Thoracique
-------------------------	----------------------

Novembre 1983

Pr. HAJJAJ Najia ép. HASSOUNI	Rhumatologie
-------------------------------	--------------

Décembre 1984

Pr. MAAOUNI Abdelaziz	Médecine Interne – <i>Clinique Royale</i>
Pr. MAAZOUZI Ahmed Wajdi	Anesthésie -Réanimation
Pr. SETTAF Abdellatif	pathologie Chirurgicale

Novembre et Décembre 1985

Pr. BENJELLOUN Halima	Cardiologie
Pr. BENSALD Younes	Pathologie Chirurgicale
Pr. EL ALAOUI Faris Moulay El Mostafa	Neurologie

Janvier, Février et Décembre 1987

Pr. AJANA Ali
Pr. CHAHED OUZZANI Houria
Pr. EL YAACOUBI Moradh
Pr. ESSAID EL FEYDI Abdellah
Pr. LACHKAR Hassan
Pr. YAHYAOUI Mohamed

Radiologie
Gastro-Entérologie
Traumatologie Orthopédie
Gastro-Entérologie
Médecine Interne
Neurologie

Décembre 1988

Pr. BENHAMAMOUCHE Mohamed Najib
Pr. DAFIRI Rachida
Pr. HERMAS Mohamed

Chirurgie Pédiatrique
Radiologie
Traumatologie Orthopédie

Décembre 1989

Pr. ADNAOUI Mohamed
Pr. BOUKILI MAKHOUKHI Abdelali*
Pr. CHAD Bouziane
Pr. OUZZANI Taïbi Mohamed Réda

Médecine Interne – **Doyen de la FMPR**
Cardiologie
Pathologie Chirurgicale
Neurologie

Janvier et Novembre 1990

Pr. CHKOFF Rachid
Pr. HACHIM Mohammed*
Pr. KHARBACH Aïcha
Pr. MANSOURI Fatima
Pr. TAZI Saoud Anas

Pathologie Chirurgicale
Médecine-Interne
Gynécologie -Obstétrique
Anatomie-Pathologique
Anesthésie Réanimation

Février Avril Juillet et Décembre 1991

Pr. AL HAMANY Zaïtounia
Pr. AZZOUI Abderrahim
Pr. BAYAHIA Rabéa
Pr. BELKOUCHI Abdelkader
Pr. BENCHEKROUN Belabbes Abdellatif
Pr. BENSOUDA Yahia
Pr. BERRAHO Amina
Pr. BEZZAD Rachid
Pr. CHABRAOUI Layachi
Pr. CHERRAH Yahia
Pr. CHOKAIRI Omar
Pr. KHATTAB Mohamed
Pr. SOULAYMANI Rachida
Pr. TAOUFIK Jamal

Anatomie-Pathologique
Anesthésie Réanimation – **Doyen de la FMPO**
Néphrologie
Chirurgie Générale
Chirurgie Générale
Pharmacie galénique
Ophtalmologie
Gynécologie Obstétrique
Biochimie et Chimie
Pharmacologie
Histologie Embryologie
Pédiatrie
Pharmacologie – **Dir. du Centre National PV**
Chimie thérapeutique

Décembre 1992

Pr. AHALLAT Mohamed
Pr. BENSOUDA Adil
Pr. BOUJIDA Mohamed Najib
Pr. CHAHED OUZZANI Laaziza
Pr. CHRAIBI Chafiq
Pr. DAOUDI Rajae
Pr. DEHAYNI Mohamed*

Chirurgie Générale
Anesthésie Réanimation
Radiologie
Gastro-Entérologie
Gynécologie Obstétrique
Ophtalmologie
Gynécologie Obstétrique

Pr. EL OUAHABI Abdessamad
Pr. FELLAT Rokaya
Pr. GHAFIR Driss*
Pr. JIDDANE Mohamed
Pr. TAGHY Ahmed
Pr. ZOUHDI Mimoun

Mars 1994

Pr. BENJAAFAR Noureddine
Pr. BEN RAIS Nozha
Pr. CAOUI Malika
Pr. CHRAIBI Abdelmjid
Pr. EL AMRANI Sabah
Pr. EL AOUAD Rajae
Pr. EL BARDOUNI Ahmed
Pr. EL HASSANI My Rachid
Pr. ERROUGANI Abdelkader
Pr. ESSAKALI Malika
Pr. ETTAYEBI Fouad
Pr. HADRI Larbi*
Pr. HASSAM Badredine
Pr. IFRINE Lahssan
Pr. JELTHI Ahmed
Pr. MAHFOUD Mustapha
Pr. MOUDENE Ahmed*
Pr. RHRAB Brahim
Pr. SENOUCI Karima

Mars 1994

Pr. ABBAR Mohamed*
Pr. ABDELHAK M'barek
Pr. BELAIDI Halima
Pr. BRAHMI Rida Slimane
Pr. BENTAHILA Abdelali
Pr. BENYAHIA Mohammed Ali
Pr. BERRADA Mohamed Saleh
Pr. CHAMI Ilham
Pr. CHERKAOUI Lalla Ouafae
Pr. EL ABBADI Najia
Pr. HANINE Ahmed*
Pr. JALIL Abdelouahed
Pr. LAKHDAR Amina
Pr. MOUANE Nezha

Mars 1995

Pr. ABOUQUAL Redouane
Pr. AMRAOUI Mohamed
Pr. BAIDADA Abdelaziz
Pr. BARGACH Samir
Pr. CHAARI Jilali*
Pr. DIMOU M'barek*

Neurochirurgie
Cardiologie
Médecine Interne
Anatomie
Chirurgie Générale
Microbiologie

Radiothérapie
Biophysique
Biophysique
Endocrinologie et Maladies Métaboliques
Gynécologie Obstétrique
Immunologie
Traumato-Orthopédie
Radiologie
Chirurgie Générale- **Directeur CHIS**
Immunologie
Chirurgie Pédiatrique
Médecine Interne
Dermatologie
Chirurgie Générale
Anatomie Pathologique
Traumatologie – Orthopédie
Traumatologie- Orthopédie **Inspecteur du SS**
Gynécologie –Obstétrique
Dermatologie

Urologie
Chirurgie – Pédiatrique
Neurologie
Gynécologie Obstétrique
Pédiatrie
Gynécologie – Obstétrique
Traumatologie – Orthopédie
Radiologie
Ophtalmologie
Neurochirurgie
Radiologie
Chirurgie Générale
Gynécologie Obstétrique
Pédiatrie

Réanimation Médicale
Chirurgie Générale
Gynécologie Obstétrique
Gynécologie Obstétrique
Médecine Interne
Anesthésie Réanimation – **Dir. HMIM**

Pr. DRISSI KAMILI Med Nordine*
Pr. EL MESNAOUI Abbes
Pr. ESSAKALI HOUSSYNI Leila
Pr. HDA Abdelhamid*
Pr. IBEN ATTYA ANDALOUSSI Ahmed
Pr. OUAZZANI CHAHDI Bahia
Pr. SEFIANI Abdelaziz
Pr. ZEGGWAGH Amine Ali

Anesthésie Réanimation
Chirurgie Générale
Oto-Rhino-Laryngologie
Cardiologie - **Directeur ERSM**
Urologie
Ophtalmologie
Génétique
Réanimation Médicale

Décembre 1996

Pr. AMIL Touriya*
Pr. BELKACEM Rachid
Pr. BOULANOUAR Abdelkrim
Pr. EL ALAMI EL FARICHA EL Hassan
Pr. GAOUZI Ahmed
Pr. MAHFOUDI M'barek*
Pr. MOHAMMADI Mohamed
Pr. OUADGHIRI Mohamed
Pr. OUZEDDOUN Naima
Pr. ZBIR EL Mehdi*

Radiologie
Chirurgie Pédiatrie
Ophtalmologie
Chirurgie Générale
Pédiatrie
Radiologie
Médecine Interne
Traumatologie-Orthopédie
Néphrologie
Cardiologie

Novembre 1997

Pr. ALAMI Mohamed Hassan
Pr. BEN SLIMANE Lounis
Pr. BIROUK Nazha
Pr. CHAOUIR Souad*
Pr. ERREIMI Naima
Pr. FELLAT Nadia
Pr. HAIMEUR Charki*
Pr. KADDOURI Nouredine
Pr. KOUTANI Abdellatif
Pr. LAHLOU Mohamed Khalid
Pr. MAHRAOUI CHAFIQ
Pr. OUAHABI Hamid*
Pr. TAOUFIQ Jallal
Pr. YOUSFI MALKI Mounia

Gynécologie-Obstétrique
Urologie
Neurologie
Radiologie
Pédiatrie
Cardiologie
Anesthésie Réanimation
Chirurgie Pédiatrique
Urologie
Chirurgie Générale
Pédiatrie
Neurologie
Psychiatrie
Gynécologie Obstétrique

Novembre 1998

Pr. AFIFI RAJAA
Pr. BENOMAR ALI
Pr. BOUGTAB Abdesslam
Pr. ER RIHANI Hassan
Pr. EZZAITOUNI Fatima
Pr. LAZRAK Khalid *
Pr. BENKIRANE Majid*
Pr. KHATOURI ALI*
Pr. LABRAIMI Ahmed*

Gastro-Entérologie
Neurologie – **Doyen Abulcassis**
Chirurgie Générale
Oncologie Médicale
Néphrologie
Traumatologie Orthopédie
Hématologie
Cardiologie
Anatomie Pathologique

Janvier 2000

Pr. ABID Ahmed*
Pr. AIT OUMAR Hassan

Pneumophtisiologie
Pédiatrie

Pr. BENJELLOUN Dakhama Badr.Sououd
Pr. BOURKADI Jamal-Eddine
Pr. CHARIF CHEFCHAOUNI Al Montacer
Pr. ECHARRAB El Mahjoub
Pr. EL FTOUH Mustapha
Pr. EL MOSTARCHID Brahim*
Pr. ISMAILI Hassane*
Pr. MAHMOUDI Abdelkrim*
Pr. TACHINANTE Rajae
Pr. TAZI MEZALEK Zoubida

Pédiatrie
Pneumo-phtisiologie
Chirurgie Générale
Chirurgie Générale
Pneumo-phtisiologie
Neurochirurgie
Traumatologie Orthopédie
Anesthésie-Réanimation
Anesthésie-Réanimation
Médecine Interne

Novembre 2000

Pr. AIDI Saadia
Pr. AIT OURHROUI Mohamed
Pr. AJANA Fatima Zohra
Pr. BENAMR Said
Pr. CHERTI Mohammed
Pr. ECH-CHERIF EL KETTANI Selma
Pr. EL HASSANI Amine
Pr. EL KHADER Khalid
Pr. EL MAGHRAOUI Abdellah*
Pr. GHARBI Mohamed El Hassan
Pr. HSSAIDA Rachid*
Pr. LAHLOU Abdou
Pr. MAFTAH Mohamed*
Pr. MAHASSINI Najat
Pr. MDAGHRI ALAOUI Asmae
Pr. NASSIH Mohamed*
Pr. ROUIMI Abdelhadi*

Neurologie
Dermatologie
Gastro-Entérologie
Chirurgie Générale
Cardiologie
Anesthésie-Réanimation
Pédiatrie
Urologie
Rhumatologie
Endocrinologie et Maladies Métaboliques
Anesthésie-Réanimation
Traumatologie Orthopédie
Neurochirurgie
Anatomie Pathologique
Pédiatrie
Stomatologie Et Chirurgie Maxillo-Faciale
Neurologie

Décembre 2000

Pr. ZOHAIR ABDELAH*

ORL

Décembre 2001

Pr. ABABOU Adil
Pr. BALKHI Hicham*
Pr. BENABDELJLIL Maria
Pr. BENAMAR Loubna
Pr. BENAMOR Jouda
Pr. BENELBARHDADI Imane
Pr. BENNANI Rajae
Pr. BENOUACHANE Thami
Pr. BEZZA Ahmed*
Pr. BOUCHIKHI IDRISSE Med Larbi
Pr. BOUMDIN El Hassane*
Pr. CHAT Latifa
Pr. DAALI Mustapha*
Pr. DRISSE Sidi Mourad*
Pr. EL HIJRI Ahmed
Pr. EL MAAQILI Moulay Rachid

Anesthésie-Réanimation
Anesthésie-Réanimation
Neurologie
Néphrologie
Pneumo-phtisiologie
Gastro-Entérologie
Cardiologie
Pédiatrie
Rhumatologie
Anatomie
Radiologie
Radiologie
Chirurgie Générale
Radiologie
Anesthésie-Réanimation
Neuro-Chirurgie

Pr. EL MADHI Tarik
 Pr. EL OUNANI Mohamed
 Pr. ETTAIR Said
 Pr. GAZZAZ Miloudi*
 Pr. HRORA Abdelmalek
 Pr. KABBAJ Saad
 Pr. KABIRI EL Hassane*
 Pr. LAMRANI Moulay Omar
 Pr. LEKEHAL Brahim
 Pr. MAHASSIN Fattouma*
 Pr. MEDARHRI Jalil
 Pr. MIKDAME Mohammed*
 Pr. MOHSINE Raouf
 Pr. NOUINI Yassine
 Pr. SABBAH Farid
 Pr. SEFIANI Yasser
 Pr. TAOUFIQ BENCHEKROUN Soumia

Chirurgie-Pédiatrique
 Chirurgie Générale
 Pédiatrie
 Neuro-Chirurgie
 Chirurgie Générale
 Anesthésie-Réanimation
 Chirurgie Thoracique
 Traumatologie Orthopédie
 Chirurgie Vasculaire Périphérique
 Médecine Interne
 Chirurgie Générale
 Hématologie Clinique
 Chirurgie Générale
 Urologie
 Chirurgie Générale
 Chirurgie Vasculaire Périphérique
 Pédiatrie

Décembre 2002

Pr. AL BOUZIDI Abderrahmane*
 Pr. AMEUR Ahmed *
 Pr. AMRI Rachida
 Pr. AOURARH Aziz*
 Pr. BAMOU Youssef *
 Pr. BELMEJDOUB Ghizlene*
 Pr. BENZEKRI Laila
 Pr. BENZZOUBEIR Nadia
 Pr. BERNOUSSI Zakiya
 Pr. BICHRA Mohamed Zakariya*
 Pr. CHOHO Abdelkrim *
 Pr. CHKIRATE Bouchra
 Pr. EL ALAMI EL FELLOUS Sidi Zouhair
 Pr. EL HAOURI Mohamed *
 Pr. EL MANSARI Omar*
 Pr. FILALI ADIB Abdelhai
 Pr. HAJJI Zakia
 Pr. IKEN Ali
 Pr. JAAFAR Abdeloihab*
 Pr. KRIOUILE Yamina
 Pr. LAGHMARI Mina
 Pr. MABROUK Hfid*
 Pr. MOUSSAOUI RAHALI Driss*
 Pr. MOUSTAGHFIR Abdelhamid*
 Pr. NAITLHO Abdelhamid*
 Pr. OUJILAL Abdelilah
 Pr. RACHID Khalid *
 Pr. RAISS Mohamed
 Pr. RGUIBI IDRISSE Sidi Mustapha*

Anatomie Pathologique
 Urologie
 Cardiologie
 Gastro-Entérologie
 Biochimie-Chimie
 Endocrinologie et Maladies Métaboliques
 Dermatologie
 Gastro-Entérologie
 Anatomie Pathologique
 Psychiatrie
 Chirurgie Générale
 Pédiatrie
 Chirurgie Pédiatrique
 Dermatologie
 Chirurgie Générale
 Gynécologie Obstétrique
 Ophtalmologie
 Urologie
 Traumatologie Orthopédie
 Pédiatrie
 Ophtalmologie
 Traumatologie Orthopédie
 Gynécologie Obstétrique
 Cardiologie
 Médecine Interne
 Oto-Rhino-Laryngologie
 Traumatologie Orthopédie
 Chirurgie Générale
 Pneumophtisiologie

Pr. RHOU Hakima
Pr. SIAH Samir *
Pr. THIMOU Amal
Pr. ZENTAR Aziz*

Néphrologie
Anesthésie Réanimation
Pédiatrie
Chirurgie Générale

Janvier 2004

Pr. ABDELLAH El Hassan
Pr. AMRANI Mariam
Pr. BENBOUZID Mohammed Anas
Pr. BENKIRANE Ahmed*
Pr. BOUGHALEM Mohamed*
Pr. BOULAADAS Malik
Pr. BOURAZZA Ahmed*
Pr. CHAGAR Belkacem*
Pr. CHERRADI Nadia
Pr. EL FENNI Jamal*
Pr. EL HANCHI ZAKI
Pr. EL KHORASSANI Mohamed
Pr. EL YOUNASSI Badreddine*
Pr. HACHI Hafid
Pr. JABOUIRIK Fatima
Pr. KHABOUZE Samira
Pr. KHARMAZ Mohamed
Pr. LEZREK Mohammed*
Pr. MOUGHIL Said
Pr. OUBAAZ Abdelbarre*
Pr. TARIB Abdelilah*
Pr. TIJAMI Fouad
Pr. ZARZUR Jamila

Ophtalmologie
Anatomie Pathologique
Oto-Rhino-Laryngologie
Gastro-Entérologie
Anesthésie Réanimation
Stomatologie et Chirurgie Maxillo-faciale
Neurologie
Traumatologie Orthopédie
Anatomie Pathologique
Radiologie
Gynécologie Obstétrique
Pédiatrie
Cardiologie
Chirurgie Générale
Pédiatrie
Gynécologie Obstétrique
Traumatologie Orthopédie
Urologie
Chirurgie Cardio-Vasculaire
Ophtalmologie
Pharmacie Clinique
Chirurgie Générale
Cardiologie

Janvier 2005

Pr. ABBASSI Abdellah
Pr. AL KANDRY Sif Eddine*
Pr. ALAOUI Ahmed Essaid
Pr. ALLALI Fadoua
Pr. AMAZOUZI Abdellah
Pr. AZIZ Nouredine*
Pr. BAHIRI Rachid
Pr. BARKAT Amina
Pr. BENHALIMA Hanane
Pr. BENYASS Aatif
Pr. BERNOUSSI Abdelghani
Pr. CHARIF CHEFCHAOUNI Mohamed
Pr. DOUDOUH Abderrahim*
Pr. EL HAMZAOUI Sakina*
Pr. HAJJI Leila
Pr. HESSISSEN Leila
Pr. JIDAL Mohamed*
Pr. LAAROUSSI Mohamed
Pr. LYAGOUBI Mohammed
Pr. NIAMANE Radouane*

Chirurgie Réparatrice et Plastique
Chirurgie Générale
Microbiologie
Rhumatologie
Ophtalmologie
Radiologie
Rhumatologie
Pédiatrie
Stomatologie et Chirurgie Maxillo Faciale
Cardiologie
Ophtalmologie
Ophtalmologie
Biophysique
Microbiologie
Cardiologie (mise en disponibilité)
Pédiatrie
Radiologie
Chirurgie Cardio-vasculaire
Parasitologie
Rhumatologie

Pr. RAGALA Abdelhak
Pr. SBIHI Souad
Pr. ZERAIDI Najja

Gynécologie Obstétrique
Histo-Embryologie Cytogénétique
Gynécologie Obstétrique

Décembre 2005

Pr. CHANI Mohamed

Anesthésie Réanimation

Avril 2006

Pr. ACHEMLAL Lahsen*
Pr. AKJOUJ Said*
Pr. BELMEKKI Abdelkader*
Pr. BENCHEIKH Razika
Pr. BIYI Abdelhamid*
Pr. BOUHAFS Mohamed El Amine
Pr. BOULAHYA Abdellatif*
Pr. CHENGUETI ANSARI Anas
Pr. DOGHMI Nawal
Pr. ESSAMRI Wafaa
Pr. FELLAT Ibtissam
Pr. FAROUDY Mamoun
Pr. GHADOUANE Mohammed*
Pr. HARMOUCHE Hicham
Pr. HANAFI Sidi Mohamed*
Pr. IDRIS LAHLOU Amine*
Pr. JROUNDI Laila
Pr. KARMOUNI Tariq
Pr. KILI Amina
Pr. KISRA Hassan
Pr. KISRA Mounir
Pr. LAATIRIS Abdelkader*
Pr. LMIMOUNI Badreddine*
Pr. MANSOURI Hamid*
Pr. OUANASS Abderrazzak
Pr. SAFI Soumaya*
Pr. SEKKAT Fatima Zahra
Pr. SOUALHI Mouna
Pr. TELLAL Saida*
Pr. ZAHRAOUI Rachida

Rhumatologie
Radiologie
Hématologie
O.R.L
Biophysique
Chirurgie - Pédiatrique
Chirurgie Cardio – Vasculaire
Gynécologie Obstétrique
Cardiologie
Gastro-entérologie
Cardiologie
Anesthésie Réanimation
Urologie
Médecine Interne
Anesthésie Réanimation
Microbiologie
Radiologie
Urologie
Pédiatrie
Psychiatrie
Chirurgie – Pédiatrique
Pharmacie Galénique
Parasitologie
Radiothérapie
Psychiatrie
Endocrinologie
Psychiatrie
Pneumo – Phtisiologie
Biochimie
Pneumo – Phtisiologie

Octobre 2007

Pr. ABIDI Khalid
Pr. ACHACHI Leila
Pr. ACHOUR Abdessamad*
Pr. AIT HOUSSA Mahdi*
Pr. AMHAJJI Larbi*
Pr. AMMAR Haddou*
Pr. AOUI Sarra
Pr. BAITE Abdelouahed*
Pr. BALOUCH Lhousaine*
Pr. BENZIANE Hamid*

Réanimation médicale
Pneumo phtisiologie
Chirurgie générale
Chirurgie cardio vasculaire
Traumatologie orthopédie
ORL
Parasitologie
Anesthésie réanimation
Biochimie-chimie
Pharmacie clinique

Pr. BOUTIMZINE Nourdine
Pr. CHARKAOUI Naoual*
Pr. EHIRCHIOU Abdelkader*
Pr. ELABSI Mohamed
Pr. EL MOUSSAOUI Rachid
Pr. EL OMARI Fatima
Pr. GANA Rachid
Pr. GHARIB Nouredine
Pr. HADADI Khalid*
Pr. ICHOU Mohamed*
Pr. ISMAILI Nadia
Pr. KEBDANI Tayeb
Pr. LALAOUI SALIM Jaafar*
Pr. LOUZI Lhoussain*
Pr. MADANI Naoufel
Pr. MAHI Mohamed*
Pr. MARC Karima
Pr. MASRAR Azlarab
Pr. MOUTAJ Redouane *
Pr. MRABET Mustapha*
Pr. MRANI Saad*
Pr. OUZZIF Ez zohra*
Pr. RABHI Monsef*
Pr. RADOUANE Bouchaib*
Pr. SEFFAR Myriame
Pr. SEKHSOKH Yessine*
Pr. SIFAT Hassan*
Pr. TABERKANET Mustafa*
Pr. TACHFOUTI Samira
Pr. TAJDINE Mohammed Tariq*
Pr. TANANE Mansour*
Pr. TLIGUI Houssain
Pr. TOUATI Zakia

Décembre 2007

Pr. DOUHAL ABDERRAHMAN

Décembre 2008

Pr ZOUBIR Mohamed*
Pr TAHIRI My El Hassan*

Mars 2009

Pr. ABOUZAHIR Ali*
Pr. AGDR Aomar*
Pr. AIT ALI Abdelmounaim*
Pr. AIT BENHADDOU El hachmia

Ophtalmologie
Pharmacie galénique
Chirurgie générale
Chirurgie générale
Anesthésie réanimation
Psychiatrie
Neuro chirurgie
Chirurgie plastique et réparatrice
Radiothérapie
Oncologie médicale
Dermatologie
Radiothérapie
Anesthésie réanimation
Microbiologie
Réanimation médicale
Radiologie
Pneumo phtisiologie
Hématologique
Parasitologie
Médecine préventive santé publique et hygiène
Virologie
Biochimie-chimie
Médecine interne
Radiologie
Microbiologie
Microbiologie
Radiothérapie
Chirurgie vasculaire périphérique
Ophtalmologie
Chirurgie générale
Traumatologie orthopédie
Parasitologie
Cardiologie

Ophtalmologie

Anesthésie Réanimation
Chirurgie Générale

Médecine interne
Pédiatre
Chirurgie Générale
Neurologie

Pr. AKHADDAR Ali*
 Pr. ALLALI Nazik
 Pr. AMAHZOUNE Brahim*
 Pr. AMINE Bouchra
 Pr. ARKHA Yassir
 Pr. AZENDOUR Hicham*
 Pr. BELYAMANI Lahcen*
 Pr. BJIJOU Younes
 Pr. BOUHSAIN Sanae*
 Pr. BOUI Mohammed*
 Pr. BOUNAIM Ahmed*
 Pr. BOUSSOUGA Mostapha*
 Pr. CHAKOUR Mohammed *
 Pr. CHTATA Hassan Toufik*
 Pr. DOGHMI Kamal*
 Pr. EL MALKI Hadj Omar
 Pr. EL OUENNASS Mostapha*
 Pr. ENNIBI Khalid*
 Pr. FATHI Khalid
 Pr. HASSIKOU Hasna *
 Pr. KABBAJ Nawal
 Pr. KABIRI Meryem
 Pr. KARBOUBI Lamy
 Pr. L'KASSIMI Hachemi*
 Pr. LAMSAOURI Jamal*
 Pr. MARMADÉ Lahcen
 Pr. MESKINI Toufik
 Pr. MESSAOUDI Nezha *
 Pr. MSSROURI Rahal
 Pr. NASSAR Ittimade
 Pr. OUKERRAJ Latifa
 Pr. RHORFI Ismail Abderrahmani *
 Pr. ZOUHAIR Said*

Neuro-chirurgie
 Radiologie
 Chirurgie Cardio-vasculaire
 Rhumatologie
 Neuro-chirurgie
 Anesthésie Réanimation
 Anesthésie Réanimation
 Anatomie
 Biochimie-chimie
 Dermatologie
 Chirurgie Générale
 Traumatologie orthopédique
 Hématologie biologique
 Chirurgie vasculaire périphérique
 Hématologie clinique
 Chirurgie Générale
 Microbiologie
 Médecine interne
 Gynécologie obstétrique
 Rhumatologie
 Gastro-entérologie
 Pédiatrie
 Pédiatrie
 Microbiologie
 Chimie Thérapeutique
 Chirurgie Cardio-vasculaire
 Pédiatrie
 Hématologie biologique
 Chirurgie Générale
 Radiologie
 Cardiologie
 Pneumo-phtisiologie
 Microbiologie

PROFESSEURS AGREGES :

Octobre 2010

Pr. ALILOU Mustapha
 Pr. AMEZIANE Taoufiq*
 Pr. BELAGUID Abdelaziz
 Pr. BOUAITY Brahim*
 Pr. CHADLI Mariama*
 Pr. CHEMSI Mohamed*
 Pr. DAMI Abdellah*
 Pr. DARBI Abdellatif*
 Pr. DENDANE Mohammed Anouar
 Pr. EL HAFIDI Naima
 Pr. EL KHARRAS Abdennasser*
 Pr. EL MAZOUZ Samir
 Pr. EL SAYEGH Hachem

Anesthésie réanimation
 Médecine interne
 Physiologie
 ORL
 Microbiologie
 Médecine aéronautique
 Biochimie chimie
 Radiologie
 Chirurgie pédiatrique
 Pédiatrie
 Radiologie
 Chirurgie plastique et réparatrice
 Urologie

Pr. ERRABIH Ikram
Pr. LAMALMI Najat
Pr. LEZREK Mounir
Pr. MALIH Mohamed*
Pr. MOSADIK Ahlam
Pr. MOUJAHID Mountassir*
Pr. NAZIH Mouna*
Pr. ZOUAIDIA Fouad

Gastro entérologie
Anatomie pathologique
Ophtalmologie
Pédiatrie
Anesthésie Réanimation
Chirurgie générale
Hématologie
Anatomie pathologique

Mai 2012

Pr. AMRANI Abdelouahed
Pr. ABOUELALAA Khalil*
Pr. BELAIZI Mohamed*
Pr. BENCHEBBA Driss*
Pr. DRISSI Mohamed*
Pr. EL ALAOUI MHAMDI Mouna
Pr. EL KHATTABI Abdessadek*
Pr. EL OUAZZANI Hanane*
Pr. ER-RAJI Mounir
Pr. JAHID Ahmed
Pr. MEHSSANI Jamal*
Pr. RAISSOUNI Maha*

Chirurgie Pédiatrique
Anesthésie Réanimation
Psychiatrie
Traumatologie Orthopédique
Anesthésie Réanimation
Chirurgie Générale
Médecine Interne
Pneumophtisiologie
Chirurgie Pédiatrique
Anatomie pathologique
Psychiatrie
Cardiologie

Février 2013

Pr. AHID Samir
Pr. AIT EL CADI Mina
Pr. AMRANI HANCHI Laila
Pr. AMOUR Mourad
Pr. AWAB Almahdi
Pr. BELAYACHI Jihane
Pr. BELKHADIR Zakaria Houssain
Pr. BENCHEKROUN Laila
Pr. BENKIRANE Souad
Pr. BENNANA Ahmed*
Pr. BENSEFFAJ Nadia
Pr. BENSGHIR Mustapha*
Pr. BENYAHIA Mohammed*
Pr. BOUATIA Mustapha
Pr. BOUABID Ahmed Salim*
Pr. BOUTARBOUCH Mahjouba
Pr. CHAIB Ali*
Pr. DENDANE Tarek
Pr. DINI Nouzha*
Pr. ECH-CHERIF EL KETTANI Mohamed Ali
Pr. ECH-CHERIF EL KETTANI Najwa
Pr. ELFATEMI Nizare
Pr. EL GUERROUJ Hasnae
Pr. EL HARTI Jaouad

Pharmacologie – Chimie
Toxicologie
Gastro-Entérologie
Anesthésie Réanimation
Anesthésie Réanimation
Réanimation Médicale
Anesthésie Réanimation
Biochimie-Chimie
Hématologie
Informatique Pharmaceutique
Immunologie
Anesthésie Réanimation
Néphrologie
Chimie Analytique
Traumatologie Orthopédie
Anatomie
Cardiologie
Réanimation Médicale
Pédiatrie
Anesthésie Réanimation
Radiologie
Neuro-Chirurgie
Médecine Nucléaire
Chimie Thérapeutique

Pr. EL JOUDI Rachid*	Toxicologie
Pr. EL KABABRI Maria	Pédiatrie
Pr. EL KHANNOUSSI Basma	Anatomie Pathologie
Pr. EL KHLOUFI Samir	Anatomie
Pr. EL KORAICHI Alae	Anesthésie Réanimation
Pr. EN-NOUALI Hassane*	Radiologie
Pr. ERREGUIG Laila	Physiologie
Pr. FIKRI Meryim	Radiologie
Pr. GHANIMI Zineb	Pédiatrie
Pr. GHFIR Imade	Médecine Nucléaire
Pr. IMANE Zineb	Pédiatrie
Pr. IRAQI Hind	Endocrinologie et maladies métaboliques
Pr. KABBAJ Hakima	Microbiologie
Pr. KADIRI Mohamed*	Psychiatrie
Pr. LATIB Rachida	Radiologie
Pr. MAAMAR Mouna Fatima Zahra	Médecine Interne
Pr. MEDDAH Bouchra	Pharmacologie
Pr. MELHAOUI Adyl	Neuro-chirurgie
Pr. MRABTI Hind	Oncologie Médicale
Pr. NEJJARI Rachid	Pharmacognosie
Pr. OUBEJJA Houda	Chirurgie Pédiatrique
Pr. OUKABLI Mohamed*	Anatomie Pathologique
Pr. RAHALI Younes	Pharmacie Galénique
Pr. RATBI Ilham	Génétique
Pr. RAHMANI Mounia	Neurologie
Pr. REDA Karim*	Ophtalmologie
Pr. REGRAGUI Wafa	Neurologie
Pr. RKAIN Hanan	Physiologie
Pr. ROSTOM Samira	Rhumatologie
Pr. ROUAS Lamiaa	Anatomie Pathologique
Pr. ROUIBAA Fedoua*	Gastro-Entérologie
Pr. SALIHOUN Mouna	Gastro-Entérologie
Pr. SAYAH Rochde	Chirurgie Cardio-Vasculaire
Pr. SEDDIK Hassan*	Gastro-Entérologie
Pr. ZERHOUNI Hicham	Chirurgie Pédiatrique
Pr. ZINE Ali*	Traumatologie Orthopédie

Avril 2013

Pr. EL KHATIB Mohamed Karim*	Stomatologie et Chirurgie Maxillo-faciale
Pr. GHOUNDALE Omar*	Urologie
Pr. ZYANI Mohammad*	Médecine Interne

**Enseignants Militaires*

2- ENSEIGNANTS – CHERCHEURS SCIENTIFIQUES

PROFESSEURS / PRs. HABILITES

Pr. ABOUDRAR Saadia	Physiologie
Pr. ALAMI OUHABI Naima	Biochimie – chimie
Pr. ALAOUI KATIM	Pharmacologie
Pr. ALAOUI SLIMANI Lalla Naïma	Histologie-Embryologie
Pr. ANSAR M'hammed	Chimie Organique et Pharmacie Chimique
Pr. BOUHOUCHE Ahmed	Génétique Humaine
Pr. BOUKLOUZE Abdelaziz	Applications Pharmaceutiques
Pr. BOURJOUANE Mohamed	Microbiologie
Pr. BARKYOU Malika	Histologie-Embryologie
Pr. CHAHED OUZZANI Lalla Chadia	Biochimie – chimie
Pr. DAKKA Taoufiq	Physiologie
Pr. DRAOUI Mustapha	Chimie Analytique
Pr. EL GUESSABI Lahcen	Pharmacognosie
Pr. ETTAIB Abdelkader	Zootchnie
Pr. FAOUZI Moulay El Abbes	Pharmacologie
Pr. HAMZAOUI Laila	Biophysique
Pr. HMAMOUCHE Mohamed	Chimie Organique
Pr. IBRAHIMI Azeddine	Biologie moléculaire
Pr. KHANFRI Jamal Eddine	Biologie
Pr. OULAD BOUYAHYA IDRISSE Med	Chimie Organique
Pr. REDHA Ahlam	Chimie
Pr. TOUATI Driss	Pharmacognosie
Pr. ZAHIDI Ahmed	Pharmacologie
Pr. ZELLOU Amina	Chimie Organique

*Mise à jour le 09/01/2015 par le
Service des Ressources Humaines*

- 9 JAN 2015





Dédicaces



A Allah

Tout puissant

Qui m'a inspiré

Qui m'a guidé dans le bon chemin

Je vous dois ce que je suis devenue

Louanges et remerciements

Pour votre clémence et miséricorde.

A Ma très chère Mère АИЧА,

C'est pour moi un jour d'une grande importance, car je sais que tu es à la fois fière et heureuse de voir le fruit de ton éducation et de tes efforts inlassables se concrétiser.

Aucun mot, aussi expressif qu'il soit, ne saurait remercier à sa juste valeur, l'être qui a consacré sa vie à parfaire mon éducation avec un dévouement inégal.

C'est grâce à ALLAH puis à toi que je suis devenue ce que je suis aujourd'hui.

Accepte ce travail comme le témoignage de ma reconnaissance, ma gratitude et mon profond amour.

Puisse ALLAH m'aider pour rendre un peu soit-il de ce que tu m'as donné.

Puisse ALLAH t'accorder santé, bonheur et longue vie.

A mon très cher père МОХАММЕД,

Aucun mot ne saurait exprimer la profonde gratitude et l'immense amour que j'ai pour toi.

Ton soutien, ta prière ont été pour moi un stimulant tout au long de mes études.

J'espère, cher père, que j'ai gagné ta confiance, ta satisfaction et ta fierté.

Qu'ALLAH te protège et t'accorde santé, longue vie et bonheur.

A mes très chers frères OUSSAMA et SAKHR,

Votre amour fraternel, votre soutien resteront gravé dans ma mémoire.

J'espère que ce travail sera le témoignage de mon amour profond et mon respect.

Je vous souhaite une vie pleine de bonheur, de santé et de prospérité.

Qu'ALLAH vous bénisse et vous protège

A ma très chère sœur FARAH et son mari NOURDINE,

Votre soutien, Votre amour et vos encouragements ont été pour moi d'un grand réconfort.

Veillez trouver dans ce travail, l'expression de mon amour et mon affection indéfectible.

Qu'ALLAH vous protège et vous accorde santé, bonheur et prospérité.

A mon très cher oncle JAMAL et sa femme SAFAA,

*Les mots ne sauraient exprimer l'entendu de l'affection que j'ai pour vous et
ma gratitude.*

*Je vous dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur, de santé et de réus-
site.*

Je vous souhaite une vie pleine de bonheur, de santé et de prospérité.

Qu'ALLAH vous bénisse et vous protège.

A ma très chère grand-mère ZAHRA,

*Nulle dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime et l'affection que j'ai
pour toi.*

*Tes prières et tes encouragements tout au long de mes études ont été pour
moi d'un grand soutien.*

Qu'HALLAH te garde et te protège.

A ma tante ZAHIRA,

*Je ne peux trouver les mots justes et sincères pour t'exprimer mon affection
et mes pensées, tu es pour moi une deuxième sœur sur qui je peux compter.*

Qu'ALLAH te bénisse et te protège toi et ta famille.

A la mémoire de mes grands-parents maternels,

A mes tantes et mes oncles,

A mes cousins et cousines,

A tous les membres de la famille, petits et grands,

Veillez trouver dans ce modeste travail l'expression de mon affection la plus sincère.

A tous mes amis (es) et leurs familles,

Je ne peux trouver les mots justes et sincères pour vous exprimer mon affection et mes pensées, vous êtes pour moi comme des sœurs et des frères sur qui je peux compter.

En témoignage de l'amitié qui nous uni, je vous dédie ce travail et je vous souhaite une vie pleine de santé et de bonheur.

A tous mes chers professeurs,

Pour leurs efforts et leur patient pour leur profession ainsi que la formation dispensée grâce à laquelle nous pouvons enfin aspirer à la grandeur.

A la promotion Pharmacie 2016,

*Pour toutes les années de labeur et de joie partagées, mais aussi pour les
bons souvenirs passés ensemble.*

*A tous ceux qui ont participé de loin ou de près à la réalisation de ce tra-
vail.*

Et à tous ceux que j'ai omis de citer.

Rawia MAMOUNI



Remerciements

A notre maître et président de thèse

Monsieur le professeur M.ZOUHDI

Professeur de la Microbiologie

Nous vous remercions pour le grand honneur que vous nous faites en acceptant de présider le Jury de cette thèse.

Votre compétence, votre dynamisme, ainsi que vos qualités humaines et professionnelles sont pour nous un exemple à suivre.

Qu'il soit permis, cher maître, de vous exprimer notre sincère reconnaissance et notre profond respect.

A notre maître et rapporteur de thèse

Monsieur le professeur A.LAATIRIS

Professeur de la Pharmacie galénique

Vous nous avez inspiré le sujet de thèse, vous nous avez guidé tout au long de son élaboration, avec bienveillance et compréhension, flexibilité et disponibilité ont été les qualités les plus marquantes au cours de cette collaboration.

Vous nous avez toujours réservé le meilleur accueil, malgré vos obligations professionnelles.

Vos encouragements inlassables, votre amabilité, votre gentillesse méritent toute admiration.

Nous saisissons cette occasion pour vous exprimer notre profonde gratitude tout en vous témoignant notre respect.

A notre maître et juge de thèse

Madame le professeur S.EL HAMZAOUI

Professeur de la Microbiologie

C'est pour nous un immense plaisir de vous voir siéger parmi le jury de notre thèse. Nous avons été toujours impressionnés par vos qualités humaines et professionnelles.

Veillez agréer, cher maître, nos dévouements et notre éternelle reconnaissance.

*A notre maître et juge de thèse
Madame le professeur S. TELLA
Professeur de la Biochimie*

*Nous sommes très sensibles à l'honneur que vous nous faites en acceptant,
avec grande amabilité, de juger ce travail.*

*Cet honneur nous touche infiniment et nous tenons à vous exprimer nos sin-
cères remerciements et notre profond respect.*



*Liste des
illustrations*

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Les composants d'une algue	6
Figure 2 : Les végétaux unicellulaires	12
Figure 3 : Les végétaux pluricellulaires	13
Figure 4 : Schéma de bassin de type raceway	27
Figure 5: Bassin ouvert de type raceway	27
Figure 6: Photo-bioréacteur à colonne verticale.....	28
Figure 7: Photo-bioréacteur tubulaire	28
Figure 8: Photo-bioréacteur plat	29
Figure 9: Fermenteur de 1000 litres.....	30
Figure 10: Les méthodes de pose de la cordeletteensemencée sur la corde	31
Figure 11: A) Dispositif horizontal ; B) Dispositif vertical.....	31
Figure 12: Filière en mer	32
Figure 13: Culture de <i>Saccharina latissima</i>	32
Figure 14: Culture d' <i>Alaria esculenta</i>	32
Figure 15: La coagulation.....	35
Figure 16: La floculation.....	35
Figure 17: L'électro-floculation	36

Figure 18: l'auto-floculation	36
Figure 19: La bio-floculation.....	37
Figure 20: Bac de décantation	37
Figure 21: Le flottateur	38
Figure 22: La centrifugeuse à assiette.....	39
Figure 23: La machine de filtration par bande passante	39
Figure 24: La filtration tangentielle	40
Figure 25: La filtration par membranes immergées	40
Figure 26: Le séchage solaire artisanal.....	41
Figure 27: Le séchage solaire industriel	41
Figure 28: Four pour séchage thermique	42
Figure 29: Production mondiale de macro-algues.....	43
Figure 30: Principaux pays producteurs d'algues dans le monde et en Europe en 2013.....	44
Figure 31: <i>Laminaria digitata</i>	47
Figure 32: <i>Laminaria hyperborea</i>	47
Figure 33: <i>Saccharina latissima</i> (ex- <i>Laminaria saccharina</i>).....	47
Figure 34: <i>Undaria pinnatifida</i>	48
Figure 35: <i>Ascophyllum nodosum</i>	48

Figure 36: <i>Fucus serratus</i>	49
Figure 37: <i>Fucus vesiculosus</i>	49
Figure 38: <i>Fucus spiralis</i>	50
Figure 39: <i>Himantalia elongata</i>	50
Figure 40: <i>Pelvetia canaliculata</i>	50
Figure 41: <i>Chondrus crispus</i>	51
Figure 42: <i>Mastocarpus stellatus</i>	51
Figure 43: <i>Palmaria palmata</i>	51
Figure 44: <i>Porphyra umbilicalis</i>	52
Figure 45: <i>Gelidium sesquipedale</i>	52
Figure 46: le maërl (<i>Lithothamnium corallioides</i> et <i>Phymatholithon calcareum</i>).....	52
Figure 47: Espèce <i>Ulva</i>	53
Figure 48: <i>Codium</i>	53
Figure 49 : A) <i>Laminaria digitata</i> : récolte d'une journée B) navire équipé de deux scoubidous	54
Figure 50 : Ramassage d' <i>Ascophyllum nodosum</i> sur le littoral breton, France.....	56
Figure 51: Les zones de production des algues en France.....	58
Figure 52 : La répartition des algues vertes en Bretagne.....	59

Figure 53: Les entreprises de transformation d'algues en divers produits (Bretagne).....	61
Figure 54: Schéma général des étapes de transformation des algues marines et leurs produits finis	63
Figure 55: La côte de Moulay Abdellah	68
Figure 56: La récolte d'algues rouges à Sidi-Bouزيد.....	71
Figure 57: La cueillette de l'algue rouge marine à El Jadida	71
Figure 58: Le séchage des algues rouges à El Jadida	72
Figure 59: Les barques utilisées pour transporter les algues	72
Figure 60: Les plongeurs	72
Figure 61 : Etapes préliminaires de culture in vitro des algues	76
Figure 62: Unité de base agarobiose.....	79
Figure 63: Répartition des productions des macro-algues par usage.....	84
Figure 64: Algue Gracilaria.....	89
Figure 65: Algue Iziki	91
Figure 66: Algue Kombu.....	91
Figure 67: Algue Wakamé.....	91
Figure 68: Feuilles d'algue Nori	92
Figure 69: Algue Dulse	92

Figure 70: Laitue de mer	92
Figure 71: Haricot de mer	93
Figure 72: Algue Spiruline	93
Figure 73: Isochrysis galbana / Tetraselmis suecica	96
Figure 74: La criste marine.....	101
Figure 75: Un masque à base d'algue.....	103
Figure 76: Une crème anti-âge à base d'algue.....	103
Figure 77: Un exfoliant à base d'algue.....	103
Figure 78: Un savon à base d'algue	104
Figure 79: Un shampoing à base d'algue	104
Figure 80: Dictyopteris (une algue brune) / Chlorella (une micro-algue).....	107
Figure 81: Le principe du fonctionnement du bioréacteur	110
Figure 82: Schéma général de transformation des algues en biocarburant et produits dérivés	112
Figure 83 : Les biocarburants provenant des micro-algues lipidiques.....	113
Figure 84: Callophycus serratus (un genre d'algue rouge)	119
Figure 85: Produits minceurs à base de Fucus	122
Figure 86: Un complément alimentaire à base de Spiruline.....	125

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : La composition chimique des algues	9
Tableau II: Les espèces d'algues récoltées en France.....	46
Tableau III: les conditions d'utilisation des algues.....	66
Tableau IV: Les risques rencontrés et les mesures prises par les opérateurs lors de la récolte et la transformation des algues marines.....	67
Tableau V: Les méthodes utilisées pour extraire les Carraghénanes et l' Agar-agar.	81
Tableau VI: Le guide d'utilisation des algues en cuisine.....	94
Tableau VII: Les extraits d'algues utilisés dans la médecine et leurs activités biologiques.	120



Sommaire

Introduction générale	1
Partie I: Généralités	4
I.1 Introduction	5
I.2 Description générale et composition des algues	6
I.2.1 Description des algues	6
I.2.2 La composition des algues	8
I.3 Classification et écologie des algues	10
I.3.2 Ecologie des algues	14
I.4 Conclusion	16
Partie II : La collecte des algues, l'algoculture et leur transformation ...	18
I. Généralité sur les algues	19
I.1 Récolte des algues	19
I.2 Algoculture	23
I.2.1 Culture des macro-algues	25
I.2.2 Culture des micro-algues	33
II. Collecte, production et transformation des algues en France	45
II.1 Algues récoltées	45
II.1.1 Algues brunes	47
II.1.2 Algues rouges	51

II.3.1 Algues vertes	53
II.2 Méthodes de récolte et de production des algues	53
II.2.1 Techniques de récolte	54
II.2.2 Zones de production et débarquements	57
II.2.3 La transformation des algues	60
III Collecte, culture et transformation des algues au Maroc	68
III.1 Algues récoltées	68
III.2 La technique de récolte des algues	70
III.3 Culture des algues	73
III.4 La transformation des algues rouges	78
IV. Conclusion	80
Partie III : Les différents domaines d'utilisation des algues et leurs bienfaits sur la Santé	82
I. Introduction	83
II. Domaines d'utilisation des algues	84
II.1 Domaine agro-alimentaire	84
II.2 Cosmétique et thalassothérapie	98
II.3 Les algues dans le domaine industriel	107
II.4 Les algues dans le domaine de la santé	113

II.5 Autres utilisations	128
III. Conclusion	130
Conclusion générale et perspectives d'avenir	131
Résumés	
Annexes	
Références	



Introduction générale

D'une grande simplicité d'organisation, les algues offrent des formes, des colorations fort différentes plus simples à peine visibles à l'œil nu, se révèlent sous la loupe ou le microscope dans les eaux devenues verdâtres par stagnation ; elles y étalent une végétation bizarre, au milieu de laquelle se jouent les animalcules infusoires. D'autres, beaucoup plus apparentes, sont connues dans les eaux douces sous le nom de Conferves et y constituent ce qu'on appelle aussi le vert d'étang. Ce sont encore des algues, ces herbes généralement lamelleuses, rubanées, que nous nommons sur les rivages maritimes *fucus*, *varechs*, *goémons*. Enfin, ces arborescences d'un rouge vif et d'une belle délicatesse que nous appliquons sur des feuilles de papier et dont nous faisons souvent des albums de plantes marines, sont des algues connues sous le nom général de Floridées. Ce groupe renferme de fait les plus belles algues par leurs formes gracieusement ramifiées et leur coloration très brillante. Toutes ces plantes vivent en absorbant les matières organiques dissoutes dans l'eau ; quand elles tiennent au sol, elles n'y puisent jamais rien.

Les Algues marines montrent de curieuses relations avec les mers où elles vivent. Les diverses espèces ont des zones de profondeurs qui leur sont propres : les unes à la surface des flots, les autres plus profondément ; il en est qui vivent jusqu'à 60 mètres et plus au-dessous du niveau de la mer. Certaines algues, comme les Corallines (Corallinales), jouissent de la curieuse propriété de s'incruster de calcaire. Les Fucacées renferment les végétaux les plus grands : dans les mers polaires, certaines espèces atteignent presque 100 mètres de longueur. [1]

Depuis les temps immémoriaux, les algues ont été une richesse pour les populations. Utilisées comme combustible ou comme aliments additionnels, elles ont procurés un amendement bon marchés et abondant pour l'agriculture depuis le 17^{ème} siècle. Au 19^{ème} siècle elles ont fourni la matière première aux usines d'extraction d'iode. Les fours à Goémon représentent les vestiges de cette époque révolue depuis la fin de la 2^{ème} guerre mondiale. Enfin le 20^{ème} siècle découvre une autre qualité des algues : des composés gélifiants et épaississants contenus dans les algues rouges et brunes. Ces composés (exemple : les carraghénates) sont essentiellement extraits des algues rouges. Nous les retrouvons dans les industries alimentaires et cosmétiques sous le nom de code E407, ils entrent dans la composition des desserts lactés et servent à la stabilisation de boissons, soupes et viandes reconstituées. Dans le domaine médical ces composés sont incorporés dans des dentifrices et montrent des propriétés protectrices des parois du tube digestif. Nous leur connaissons de plus des propriétés anti virales encore à l'étude. [2]

Ce travail est basé sur une synthèse bibliographique regroupant les connaissances générales sur les algues, leurs moyens de récolte et de culture, leurs modes de transformations en divers produits et enfin leurs différents domaines d'utilisation et impacts sur la santé humaine.



Partie I: Généralités

Dans cette partie, nous présenterons une brève définition des algues, de leur origine d'une part et d'autre part, leur description générale, composition et enfin leur taxinomie et écologie.

I.1 Introduction :

Les algues sont des êtres vivants capables de photosynthèse dont le cycle de vie se déroule généralement en milieu aquatique. Elles constituent une part très importante de la biodiversité et la base principale des chaînes alimentaires des eaux douces, saumâtres et marines. Diverses espèces sont utilisées pour l'alimentation humaine, l'agriculture ou l'industrie.

Le terme algue recouvre donc des organismes très divers : des procaryotes¹ et des eucaryotes², des organismes unicellulaires et des organismes pluricellulaires, parfois microscopiques (des micro-algues³), parfois de grande taille (les macro-algues⁴). Certaines algues sont des bactéries (les algues bleues ou cyanobactéries ; annexe 2), d'autres (comme les algues rouges et vertes ; annexes 3 et 4) sont proches des plantes terrestres, d'autres encore sont capables, comme les animaux, de se déplacer (par exemple les euglènes ; annexe 8) ou de capturer des proies (par exemple certaines haptophytes ; annexe 9). Historiquement, ces organismes ont été rassemblés dans les algues, un groupe dont l'étude a donné naissance à une discipline : la phycologie. [3]

La figure 1 représente les différents éléments constituant une algue.

➤ **Etymologie :**

« Algue » dérive du mot latin **alguae** désignant un végétal aquatique qui pousse dans l'eau et pouvant appartenir à des groupes phylogénétiques très différents.

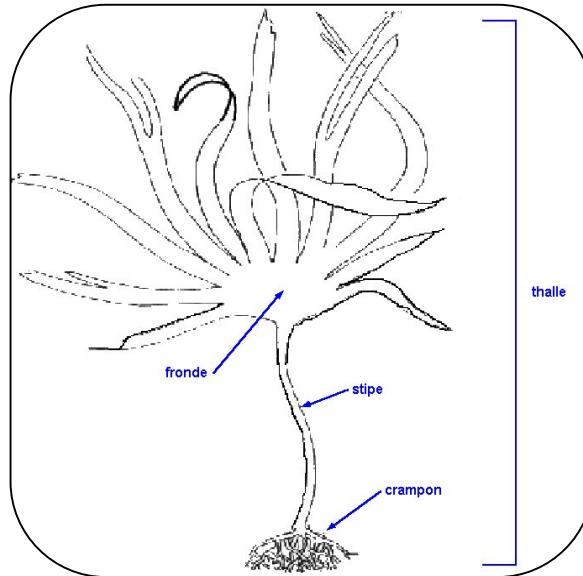


Figure 1: Les composants d'une algue

I.2 Description générale et composition des algues :

I.2.1 Description des algues :

De fait, les algues ont souvent été définies par défaut, par simple opposition aux végétaux terrestres pluricellulaires. Dans l'acception la plus large du terme, les algues rassemblent donc :

- des organismes procaryotes : les « *algues bleues* » ou *Cyanobactéries*
- des eucaryotes :
- divers groupes à espèces unicellulaires : (*Euglénophytes*, *Cryptophytes*, *Haptophytes*, *Glaucophytes*, etc.) ; (annexes 8 et 9).
- d'autres groupes à espèces unicellulaires ou pluricellulaires :

- les « *algues rouges* » ou *Rhodophyta*,
- les *Stramenopiles* (regroupant notamment les Diatomées et les « *algues brunes* » ou *Phéophycées*) ; (annexe 10).
- et enfin des végétaux assez proches des plantes terrestres : les « *algues vertes* » qui comprennent entre autres les *Ulvophycées* (annexe 11).

La morphologie est donc très diversifiée : de nombreuses espèces sont unicellulaires, éventuellement mobiles, d'autres forment des filaments cellulaires ou des lames simples, d'autres développent des architectures complexes et différenciées, par apposition cellulaire ou par enchevêtrement de filaments tubulaires. Les algues ne possèdent cependant pas de tissus nettement individualisés, comme on peut en trouver parmi les végétaux terrestres vasculaires. Les couleurs des algues, qui peuvent être très variées (verte, jaune, rouge, brune...) ont servi à désigner les différents «groupes» taxonomiques d'algues.

Bien que pouvant appartenir à des groupes non apparentés, les algues peuvent constituer des groupes écologiques pertinents : les macroalgues marines, le phytoplancton⁵, etc.

Tous les végétaux aquatiques ne sont cependant pas des algues. Plusieurs groupes de plantes terrestres se sont adaptés à une existence immergée en eau douce (des mousses, les fougères Hydroptéridales, diverses spermaphytes, etc.) (Annexes 5, 6 et 10) et quelques familles de plantes à fleurs vivent même dans la mer (*Zostéracées*... ; annexe 11). À l'inverse, de nombreuses algues

unicellulaires ont conquis des habitats terrestres très diversifiés, pourvu qu'ils soient au moins un peu humides.

Certaines algues contribuent à des formes symbiotiques stabilisées très répandues dans la nature, telles que les lichens (annexe 7), mais certaines espèces peuvent aussi être impliquées dans des formes de symbioses plus rares ou plus insolites, par exemple avec certaines éponges d'eau douce, des mollusques nudibranches (annexe 12).

I.2.2 La composition des algues :

Le tableau I résume les caractéristiques communes à la plupart des espèces d'algues. [4]

Les algues se composent de matières organiques notamment des glucides, protides, lipides, vitamines et de matières minérales telles que des macroéléments et des oligo-éléments.

Elles peuvent contenir également des :

Antioxydants

Plusieurs extraits d'algues brunes, rouges et vertes cultivées en Europe ou en Asie ont démontré une activité antioxydante *in vitro*. Leur composition en antioxydants et leur capacité antioxydante varient selon plusieurs facteurs, comme la profondeur où elles poussent et leur degré d'exposition aux rayons ultraviolets (UV). Les algues contiennent différents composés antioxydants incluant des caroténoïdes (lutéine⁶ et zéaxanthine⁷), des flavonoïdes (catéchines⁸) et des acides phénoliques (tannins). [4]

Caroténoïdes

Comme la fucoxanthine⁹ (un caroténoïde extrait du wakamé). [4]

Tableau I : La composition chimique des algues.

Matières organiques (70%)	Matières minérales (20%)
<ul style="list-style-type: none"> • Glucides (57%) Acide alginique - Carraghénanes Fucoïdine - Gélose - Laminarine Mannitol - Cellulose • Lipides (4%) • Protides (9%) dont les acides aminés suivants : Acide aspartique - Acide glutamique Alanine - Arginine - Asparagine - Cystine - Glycine - Histidine - Isoleucine - Leucine - Lysine Méthionine - Phénylalanine - Proline - Sérine Thréonine Tryptophane - Tyrosine - Valine • Phytohormones ou auxines (hormones de croissance) les gibbérélines • Vitamines A (rétinol) - B1 (thiamine) - B2 (riboflavine) B3 ou PP (nicotinamide) - B6 (pyridoxine) B12 (cobalamine) - C (acide ascorbique) D3 (cholécalférol) - E (tocophérol) K (phyllo quinone) • Pigments Chlorophylle - Carotène - Xanthophylle Phycobiline 	<ul style="list-style-type: none"> • Macroéléments classés par ordre décroissant de leur teneur pondérale <u>Potassium</u> Chlore, Sodium <u>Calcium</u> <u>Magnésium</u> Soufre - Phosphore - Iode • Oligo-éléments (classés par ordre alphabétique) Bore - Cuivre - Fer - Fluor - Manganèse Molybdène - Sélénium - Silicium - Zinc

Fibres

Les algues contiennent des quantités intéressantes de fibres, particulièrement sous forme soluble. Selon la variété, une portion d'algues fraîches peut contenir jusqu'à 8 % de la quantité de fibres recommandée quotidiennement.

Les algues séchées, quant à elles, contiendraient de 35 % à 50 % de leur poids sous forme de fibres. [4]

I.3 Classification et écologie des algues :

I.3.1 La classification des algues :

❖ selon la structure cellulaire :

✓ « Algues » procaryotes

Traditionnellement, nous classions les Cyanobactéries parmi les algues, référencées comme *cyanophytes* ou *algues bleu-vert*, bien que certains traités les en aient exclues. Elles apparaissent déjà dans des fossiles du Précambrien, datant d'environ 3,8 milliards d'années. Elles auraient joué un grand rôle dans la production de l'oxygène de l'atmosphère. Leurs cellules ont une structure procaryote typique des bactéries. La photosynthèse se produit directement dans le cytoplasme. Lorsqu'elles sont en symbiose avec un champignon, elles forment un lichen.

Elles sont à l'origine des chloroplastes des cellules eucaryotes, et ont ainsi permis aux végétaux de réaliser la photosynthèse, à la suite d'une endosymbiose¹⁰.

✓ « Algues » eucaryotes

Toutes les autres algues sont eucaryotes. Chez-elles, la photosynthèse se produit dans des structures particulières, entourées d'une membrane, que nous appelons chloroplastes. Ces structures contiennent de l'ADN et sont similaires aux cyanobactéries validant l'hypothèse de l'endosymbiose.

Trois groupes de végétaux ont des chloroplastes « primaires » :

- les Chlorobiontes (annexe 12) dont font partie les plantes vertes ;

- les algues rouges ou Rhodophytes ;
- les Glaucophytes.

Dans ces groupes, le chloroplaste est entouré par deux membranes. Ceux des algues rouges ont plus ou moins la pigmentation typique des cyanobactéries, alors que la couleur verte, et celle des plantes supérieures, est due à la chlorophylle *a* et *b*. Nous pensons raisonnablement que ces groupes ont un ancêtre commun, c'est-à-dire que l'existence des chloroplastes serait la conséquence d'un seul événement endosymbiotique.

Deux autres groupes, les Euglénophytes et les Chlorarachniophytes (annexe 15), ont des chloroplastes verts contenant de la chlorophylle *a* et *b*. Ces chloroplastes sont entourés, respectivement, de trois ou quatre membranes et furent probablement acquis de l'incorporation d'une algue verte. Ceux des Chlorarachniophytes contiennent un petit nucléomorphe, reste du noyau de la cellule.

Nous supposons que les chloroplastes des Euglénophytes ont seulement trois membranes parce qu'ils furent acquis par myzocytose¹¹ plutôt que par phagocytose.

❖ selon l'organisation de l'appareil végétatif : [5]

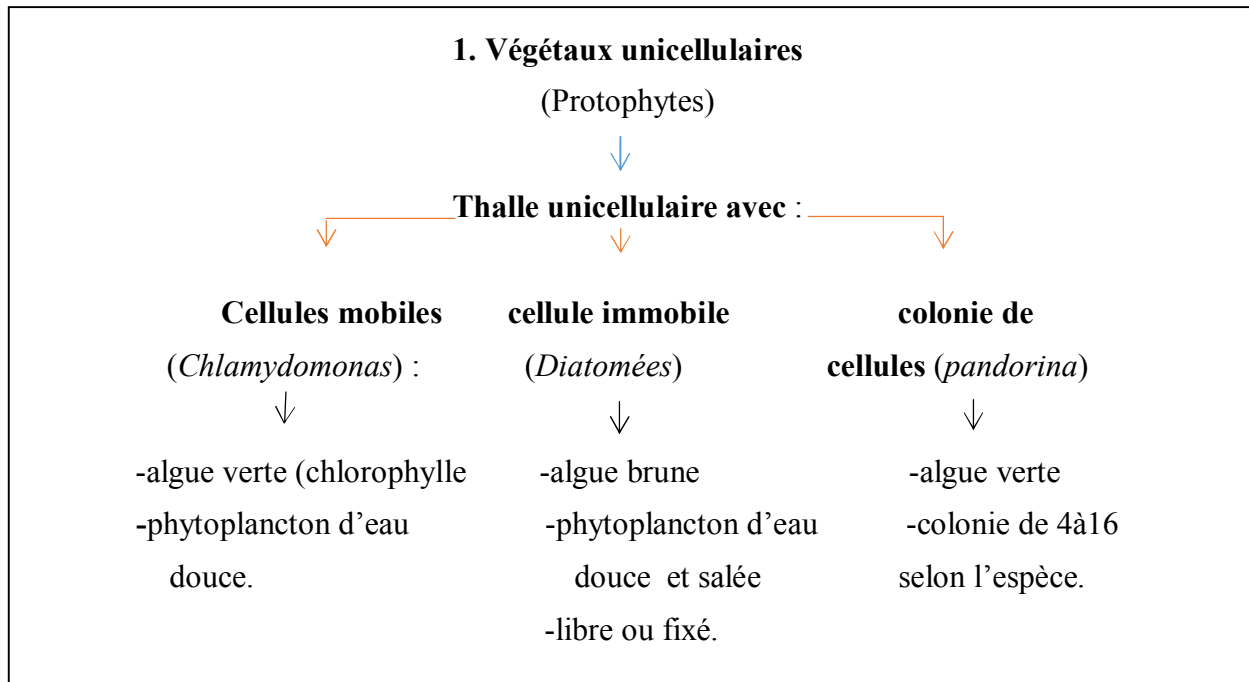


Figure 2 : Les végétaux unicellulaires

2. Végétaux pluricellulaires

(Métaphytes)

Thalles pluricellulaires :

Thalles siphonnés :

(*Bryopsis plumosa*) :

- Une seule membrane et plusieurs noyaux dans le même cytoplasme.
- algue verte
- développement de rameaux dressés sur rameaux secondaires.

Thalles pluricellulaires :

+ Thalle filamenteux

(*Spyrogira*) :

- algue verte
- pas de ramification
- chloroplaste en forme d'hélice.

+ Thalle filamenteux ramifié :

(Deux types de filaments : prostrés et erectés)

- Un seul type de filament : thalle homotriche
- Deux types de filaments : thalle hétérotriche.

+Thalles foliacés (*Ulva lactuca*) : -Algue verte

- Elargissement de thalle par mitoses transverses et longitudinales.

+Thalles en tube (*Enteromorpha*) : -Algue verte

- Deux assises de cellules qui s'écartent
- Tube creux formé d'une seule couche de cellules.

+Thalles cladomiens (*Plumaria*) : -Association de deux types de filaments

- Un axe engendré par une cellule initiale du cladome
- Des rameaux latéraux.
- Thalle en forme de triangle.

+Thalles fucoïdes (*Laminaria*) : -Algue brune

- Thalle divisé en trois parties: une base qui sert d'encrage, un stipe cylindrique et une fronde.

Figure 3 : Les végétaux pluricellulaires

I.3.2 Ecologie des algues :

Les algues constituent, avec les bactéries et le zooplancton, une part essentielle importante de l'écologie aquatique et de l'environnement marin notamment. Elles ont adopté des modes de vie très divers, certaines vivant même hors de l'eau. Grâce à des spores résistantes, d'autres ont une capacité exceptionnelle de résistance. Le vent, les embruns et les oiseaux migrateurs contribuent à leur dispersion. [5]

Les algues jouent un rôle fondamental dans le cycle du carbone. En effet, elles fixent le carbone atmosphérique via la photosynthèse et contribuent ainsi à limiter l'effet de serre.

Bien qu'elles soient toutes pourvues de chlorophylle, elles peuvent être autonomes (autotrophes ou saprophytes), parasites, ou vivre en symbiose.

- Algues autotrophes¹²
- Algues flottantes du plancton :
 - Algues unicellulaires, en colonies lâches ou filamenteuses formant le phytoplancton,
 - Algues flottantes de grande taille : les sargasses, algues brunes adaptées à la vie flottante, elles ont donné leur nom à la mer des Sargasses, ou bien algues brunes ou rouges qui forment des boules ou pelotes flottantes appelées aegagropiles.
- Algues thermophiles
- Algues aériennes
- Algues fixées :

- sur des rochers : épilithes

-Ce sont les algues des côtes rocheuses fixées par des crampons robustes aux rochers ou aux galets jusqu'à une profondeur de 50 à 75 m, mais elles se raréfient très rapidement avec la profondeur au-delà de 30 m, les radiations utiles à la photosynthèse étant absorbées par l'eau de mer. Elles se développent plus sur des côtes en pente douce qui forment des plates-formes littorales étendues. C'est parmi ces algues que nous trouvons les espèces géantes. [5]

- sur des animaux : épizoïques

-Les paresseux portent sur leurs poils une algue brune pendant la saison sèche et verte pendant la saison des pluies, qui les aide à se confondre avec leur environnement.

- sur des végétaux : épiphytes

- sur du bois : épixyles

- Algues saprophytes

- Algues parasites

- Algues symbiotiques :

- Nous appelons zoo-chlorelles ou zooxanthelles les algues vivant en association avec des organismes animaux, selon qu'il s'agit d'algues vertes ou d'algues brunes. Les organismes concernés sont des spongiaires, des cnidaires, des bryozoaires ou des protozoaires.

- Avec des champignons : les lichens. Toutes les algues qui prennent part à la formation de lichens sont des Chlorophycées, la plupart unicellulaires.

Les macro-algues croissent surtout dans les eaux peu profondes et procurent des habitats différents. Les micro-algues, qui composent le phytoplancton, sont à la base de la chaîne alimentaire marine. Le phytoplancton peut être présent en forte densité là où les nutriments sont abondants, par exemple dans les zones de remontée d'eau ou eutrophisées¹³. Elles peuvent alors former des efflorescences, et changer la couleur de l'eau.

Les marées vertes qui peuvent couvrir certaines plages d'un matelas nauséabond de quelques décimètres d'épaisseur et de quelques mètres voire dizaines de mètres de large, sont dues à la prolifération d'algues vertes, essentiellement *Ulva lactuca*, dans un milieu enrichi en nitrates par le ruissellement dans les zones d'agriculture intensive ou par un traitement insuffisant des eaux usées de zones urbaines. [5]


I.4 Conclusion :

Les algues sont des végétaux appartenant au groupe des thallophytes. Elles sont donc dépourvues de racines, de tige, feuilles ou fleurs. L'ensemble du végétal porte le nom de thalle. Elles possèdent des pigments chlorophylliens leur permettant d'effectuer la photosynthèse et de les classer en quatre groupes : Cyanophytes (algues bleues), chlorophytes (algues vertes), phéophycées (algues brunes) et rhodophytes (algues rouges).

Les algues ont un mode de vie autotrophe, c'est-à-dire qu'elles sont capables de construire elles-mêmes des molécules organiques, à partir, notamment, de composés minéraux carbonés et azotés. En outre, certaines algues sont tout à fait capables d'incorporer, à l'occasion, directement des substances organiques, ou d'autres encore, de capturer, phagocyter et de digérer des proies. Ce

sont des organismes fondamentalement aquatiques même si certains colonisent des milieux temporairement exondés.

Nous savons tous que les algues sont une excellente source de fibres, de minéraux, de glucides, lipides, protides, vitamines et d'antioxydants. En tant qu'aliment, elles sont sans danger pour la santé, encore qu'il faille faire attention à certaines variétés en raison de leur teneur élevée en sodium, en iode et en métaux lourds. D'une manière générale, les algues ont tout à fait leur place dans un régime équilibré. [6]



Partie II :
La collecte des algues,
l'algoculture et leur
transformation

I. Généralité sur les algues :

I.1 Récolte des algues :

➤ Lieux d'activité :

La mer, le rivage et la plage

➤ Description de l'activité :

- La récolte, la cueillette et le ramassage des algues se fait de trois manières :

- Pour les algues de rive, elles sont opérées à pied à marée basse au niveau de l'estran rocheux (rivage). Ce dernier correspond à la zone de marinage du littoral située entre les limites extrêmes des plus hautes et des plus basses marées. L'arrachage des algues est effectué à la main si elles sont suffisamment longues ou par raclage à l'aide d'une spatule si elles sont courtes.

- Pour les algues arrachées par la houle et échouées sur le rivage, elles sont opérées à pied

- Pour les algues marines à des profondeurs de trois à quatre mètres, elles se font par plongée en apnée. A des profondeurs plus importantes allant jusqu'à 20 mètres, la plongée au narguilé se fait à l'aide d'un compresseur. L'équipe est composée de quatre personnes : trois plongeurs et un sauveteur restant sur la barque pour surveiller le compresseur d'air et accueillir les algues arrachées et remontées à l'aide de filets. Si l'eau est agitée et trouble, le ramassage se fait sans discernement. [7]

- Le déchargement des barques, les ramasseurs peuvent cueillir près de deux tonnes par jour.

- Le tri est réalisé sur la plage après déchargement des barques
- L'étalage se fait en couches minces. Le séchage au soleil dure plusieurs jours. Dès que les algues commencent à sécher, elles sont rassemblées en tas et recouvertes la nuit par des bâches en tissu. Le lendemain, elles sont aérées puis étalées à nouveau. Ce travail dure plusieurs jours notamment en hiver.
- Enfin l'ensachage des algues sèches pour la vente qui se fait directement aux usines ou à des intermédiaires. [7]
 - Machines et outils utilisés :
 - Barques, chambres à air, palmes
 - Filets, paniers, spatules, curettes, fourches, etc.
 - Compresseur d'air pour le narguilé [7]
 - Produits et matériaux utilisés :
 - Eau de mer
 - Combinaisons en latex – néoprène, lunettes de plongée
 - Essence pour le compresseur
 - Produits d'entretien du matériel et des équipements : détergents, désinfectants. [7]
 - Cadre réglementaire de la récolte en France :
 - La récolte des algues qu'elle soit mécanisée et embarquée ou manuelle est strictement réglementée par de nombreux arrêtés. Les entreprises employant des personnes sous statut TESA (Titre Emploi Simplifié Agricole) et chaque récoltant professionnel doivent adresser à la Direction Départementale des Territoires

et de la Mer (DDTM) du Finistère une demande d'autorisation de récolte d'algues de rive. Celle-ci est délivrée annuellement et implique une déclaration mensuelle obligatoire des récoltes (arrêté n°2009-0319 relatif à l'exploitation durable des goémons de rives sur le littoral de Bretagne). - Par ailleurs, un label « Bio » des algues marines est désormais possible dans le cadre d'une directive communautaire (C.E 710/2009) (RÈGLEMENT (CE) N° 710/2009 DE LA COMMISSION du 5 août 2009). En l'état actuel de l'interprétation par la France des textes européens, il ne peut être produit / récolté d'algues « bio » en France que sur les sites dont la qualité des eaux répond à trois critères concomitants :

- être issues d'une zone qualifiée de bon ou très bon état écologique (au titre du classement DCE, Directive Cadre sur l'Eau n°2000/60 CE) ;

- relever d'une zone qualifiée de bon état chimique (au titre du classement DCE) ;

- relever d'une zone classée en conchyliculture¹⁴ A ou B et ne pas relever d'une zone classée en C ou en D, ou, à défaut « si la zone n'a pas fait l'objet d'un tel classement, ni de travaux préliminaires en vue d'un classement pour les gastéropodes, l'opérateur doit mettre en place un dispositif d'analyses relatives aux métaux lourds et à la présence d'*Escherichia coli* selon les mêmes critères que ceux figurants dans ce règlement » [n° 854/2004].

La plupart des zones de récolte d'algues étant situées en dehors des zones classées au titre de la conchyliculture, la mise en place d'analyses conformes au règlement n°854/2004 est donc nécessaire sur ces zones de récolte d'algues qui souhaitent faire reconnaître leurs qualités d'algues « bio ». Ainsi, la Chambre

Syndicale des Algues et Végétaux Marins a réuni le 5 décembre 2011 des acteurs de la filière (entreprises de transformation, récoltants, scientifiques), afin de réfléchir aux zones qui pourraient être concernées par une demande de classement au titre des Zones Hors Classement Sanitaire Conchylicole conformément à la démarche définie lors d'une réunion d'experts organisée par la Direction des Pêches Maritimes et de l'Aquaculture (DPMA) et l'Institut National des Appellations d'Origine (INAO) le 23 mars 2011. [8]

- Quelques conseils sur la récolte des algues :

Pour assurer le renouvellement des champs et récolter des algues de bonne qualité, certaines pratiques sont à adopter et d'autres à éviter :

✓ Ne pas totalement récolter chaque algue : Laisser le crampon et un morceau de chaque algue accroché à son support, cela permet la repousse de l'algue ;

✓ Ne pas totalement récolter chaque champ : laisser des algues en place pour assurer leur reproduction ce qui permet la repousse de nouvelles algues pour l'année suivante. Comme les cellules de la reproduction des algues ne peuvent se disperser qu'à quelques mètres, en récoltant par petites taches, on assure ainsi les chances d'une recolonisation les années suivantes par la même espèce ;

✓ Pour les fucales, laisser au moins un rameau en place pour chaque algue coupée afin de permettre la croissance par son extrémité. Elle poussera ainsi plus rapidement et formera de nouvelles cellules reproductrices ;

✓ Couper les algues au couteau plutôt qu'à la faucille ce qui permet de mieux contrôler la longueur de l'algue laissée sur le rocher ;

✓ Ne pas racler le rocher avec un outil : certaines algues ont un stade de reproduction qui est microscopique et fixé aux rochers. En raclant les rochers, on limite la repousse de nouvelles algues ;

✓ Ne pas déplacer ou retourner les rochers : les espèces qui vivent dessus et dessous sont différentes et le retournement des rochers peut provoquer la mort d'un tiers d'entre elles. Ne pas retourner les rochers permet la survie des plantes et animaux qui les recouvrent et ainsi une recolonisation rapide par les algues ;

✓ Récolter des algues fixées et non des algues d'échouage ;

✓ Ne pas récolter à proximité de sources de pollution (sorties de station d'épuration, d'élevages d'animaux, de centrales nucléaires...). [9]

I.2 Algoculture :

Depuis quelques années, plusieurs entreprises s'intéressent à l'exploitation des algues marines. Ces entreprises s'approvisionnent principalement en algues sauvages mais étant donné les limites imposées par les autorités concernées et les difficultés de la cueillette en mer, elles s'orientent progressivement vers la culture. La culture des algues comporte plusieurs avantages importants par rapport à la cueillette d'algues sauvages. Elle favorise notamment une production homogène et de qualité supérieure. En outre, le volume de production et le temps de récolte peuvent être contrôlés. Finalement, la culture assure la protection des stocks naturels. Il n'est donc pas étonnant que 92% de l'approvisionnement mondial en algues proviennent de cultures marines.

L'algoculture ou phycoculture désigne la culture en masse des algues dans un but industriel et commercial. Ce domaine concerne aussi bien les micro-algues (également appelées phytoplancton, microphytes, algues planctoniques) que les macro-algues (que nous désignons aussi par le terme varech en français).

Le but de cette activité aquacole est de produire aussi bien des aliments (pour notre consommation ou comme algues fourrages), des compléments alimentaires, des produits vétérinaires et pharmaceutiques, des cosmétiques, des matières bioplastiques, des fertilisants ou encore des sources d'énergies renouvelables (algoturbinant, biogaz) ou en phytoremédiation. Des usages plus récents portent sur les nano-biotechnologies ou bien le génie génétique.

La culture est basée sur la maîtrise du cycle de développement et les méthodes sont les mêmes qu'en agriculture traditionnelle : sélection des géniteurs, protection des jeunes, milieux favorables, engrais azotés, etc. [10]

- Principales réglementations relatives à l'algoculture (France) :

Les candidats à l'algoculture doivent se conformer au Décret n°83-228 du 22 mars 1983, modifié par le Décret n°2009-1349 du 29 octobre 2009 et l'Arrêté du 6 juillet 2010. Les candidats doivent satisfaire à l'ensemble des conditions, y compris un plan d'installation pour les espèces cultivées. Les candidats doivent être âgés de plus de 18 ans et être européens. Ils doivent établir la preuve de leurs capacités professionnelles, à savoir un BAC professionnel spécialisation algoculture ou équivalent, et la transmettre à la Direction Départementale des Territoires et de la Mer. Ensuite, une enquête publique doit être réalisée avant l'attribution de l'autorisation. [11]

I.2.1 Culture des macro-algues :

- Les différentes étapes de la culture des macro-algues :

-L'ensemencement des collecteurs : Ce sont des supports artificiels sur lesquels les spores vont se fixer. Ces spores sont obtenues à partir de thalles géniteurs (appareil végétatif) sélectionnés avec beaucoup de soins et cultivés depuis la saison précédente.

-La phase de croissance : Surveillée en écloserie dans un milieu enrichi en nitrate d'ammonium et phosphate de potassium, soit dans de grands bacs soit dans de plus petits, ce qui, en cas d'infection coûte moins de pertes.

-Une phase de mise en culture : En mer, pour que les plantes de quelques millimètres s'habituent au milieu ; durant cette période le cultivateur surveille attentivement ces cordages pendus dans l'eau à des bouées et les remonte régulièrement pour les nettoyer. Les plantes passent de 20 centimètres à 4 mètres durant l'hiver.

-Le développement en mer avec engrais quand la plante atteint 4 mètres : Diverses manipulations sont effectuées sur la culture, en particulier un changement dans la disposition des cordages qui supportent les algues. D'abord verticaux, pendus à leurs bouées, nous les mettons ensuite à l'horizontale, une fois que les plantes sont bien fixées et nous les arrosons d'engrais tous les 15 jours.

-La récolte : Elle intervient 8 mois après quand les thalles mesurent 6 à 7 mètres et sont larges de 30 centimètres environ. [10]

- Les méthodes de culture en masse :

Toutes les espèces d'algues ne sont pas encore cultivables. Certaines macro-algues sont donc encore prélevées en mer ou sur l'estran, à partir de gisements naturels. D'autres sont cultivées dans des « champs marins », comme les algues brunes *Laminaria japonica* (4,9 millions de tonnes par an) et *Undaria pinnatifida* (2,7 millions de tonnes par an).

- Les bassins ouverts :

Certaines macro-algues sont cultivées en bassin de type « raceway » avec une agitation mécanique (*Chondrus crispus*), ou par bullage intense basse pression (*Gracilaria*, *Palmaria* ; annexe 14).

Les avantages majeurs des bassins ouverts restent leur facilité de construction et le fait qu'ils soient rapidement opérationnels et productifs. Mais les cultures y sont difficilement contrôlables, dépendant de la concentration atmosphérique en CO₂ et de la luminosité naturelle, manquant de brassage du volume de culture, elles n'ont pas une productivité sur de longues périodes et peuvent facilement être contaminées par des parasites ou prédateurs extérieurs.

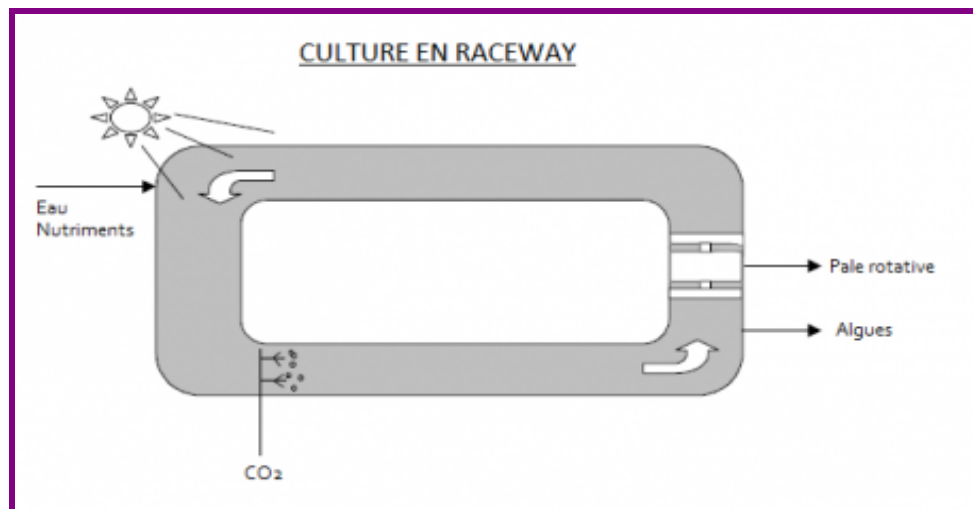


Figure 4 : Schéma de bassin de type raceway



Figure 5: Bassin ouvert de type raceway

- Les photo-bioréacteurs :

Les photo-bioréacteurs sont des systèmes fermés dont une partie du système, faite de matériau laissant passer la lumière. L'agitation des cultures est réalisée soit par une pompe mécanique, soit par un mécanisme de bullage comme dans les aquariums. Ces installations ont pour avantages de permettre le contrôle total des paramètres de cultures, des nutriments et de minimiser les risques contaminations. Toutefois les coûts d'investissement et d'exploitation sont beaucoup plus importants. Il existe trois designs principaux pour les photo-bioréacteurs :



Figure 6: Photo-bioréacteur à colonne verticale

-Les photo-bioréacteurs à colonne verticale : faciles à stériliser, ils permettent une biomasse importante. Mais leur réalisation nécessite un matériel sophistiqué et la répartition de la lumière est plutôt hétérogène à l'intérieur de la colonne.

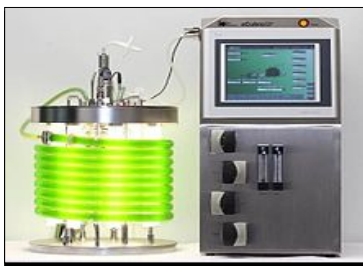


Figure 7: Photo-bioréacteur tubulaire

-Les photo-bioréacteurs tubulaires : faciles à réaliser, utilisables à l'extérieur, ils forment un réseau de tubes horizontaux, verticaux, obliques, coniques ou encore serpentins. Ils assurent une bonne production de biomasse à moindre coût. Cependant, des gradients de pH, de CO₂ et d'O₂ dissous peuvent apparaître dans les tubes, ainsi que des phénomènes de fouling¹⁵, affectant la productivité du système.

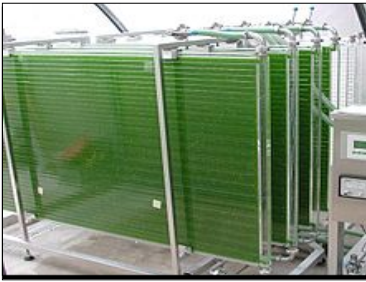


Figure 8: Photo-bioréacteur plat

-Les photo-bioréacteurs plats : ils ont été introduits par Milner en 1953. Ils assurent une bonne pénétration de la lumière et une production importante de la biomasse et un fort rendement photosynthétique, sont faciles à nettoyer et à tempérer pour les cultures et peuvent être installés à l'extérieur. L'accumulation de dioxygène dissous est relativement faible dans les photo-bioréacteurs plats par rapport aux photo-bioréacteurs tubulaires horizontaux.

Mais ils créent des différences de température difficile à gérer et peuvent induire des stress hydrodynamiques chez certaines espèces d'algues.

Il faut également noter que pour résoudre les problèmes d'irradiance lumineuse dans la culture en photo-bioréacteur, des systèmes illuminés à l'intérieur du volume de culture par des lampes à fluorescence ont été proposés. Ces systèmes présentent l'avantage de pouvoir être stérilisés à chaud et sous pression, mais restent difficiles à mettre en œuvre dans un environnement extérieur.

- Les fermenteurs :

Certaines algues peuvent être cultivées sans lumière, de manière hétérotrophique, en utilisant des substrats organiques comme sources nutritives. Ces systèmes de culture permettent la production de composés à fort intérêt pharmaceutique, et des cultures commerciales de *Chlorella* (annexe 13) dans des fermenteurs à agitation sont communes. Des procédés plus complexes, comme une alternance de cycles jours / nuits pour la mise en place de cycles photosynthétiques et hétéro-trophiques, ont également été proposés. L'*Euglena gracilis* peut être ainsi cultivée selon cette méthode afin de produire de l' α -tocophérol (une forme de vitamine E).



Figure 9: Fermenteur de 1000 litres

- La culture en pleine eau :

La culture en pleine eau - ou technique de "longue-ligne" permet une immersion permanente des algues. Cette technique est utilisée pour la culture des grandes algues brunes appartenant aux Laminaires, mais aussi pour l'algue rouge *Asparagopsis armata* (annexe 16) ou encore pour l'algue verte *Codium sp* (annexe 17). [12]

Avant d'être déployées en mer, les lignes doivent êtreensemencées. Deux techniques d'ensemencement sont utilisées :

-Le bouturage (ex. *Asparagopsis armata*) : des algues issues de la récolte précédente ou cueillies dans le milieu sont fractionnées. Les fragments sont insérés dans les torons de la corde qui sera mise en mer. [12]

-La production de plantules en éclosion (ex. Laminaires) : cette technique a permis l'essor de l'algoculture. Elle est plus ou moins longue et complexe selon l'espèce d'algue considérée. Il s'agit de maîtriser la libération des éléments

reproducteurs des algues mûres par le contrôle des paramètres de température, lumière et photopériode. Les éléments reproducteurs viennent alors se fixer sur une cordelette qui sera par la suite posée sur la corde. [12]

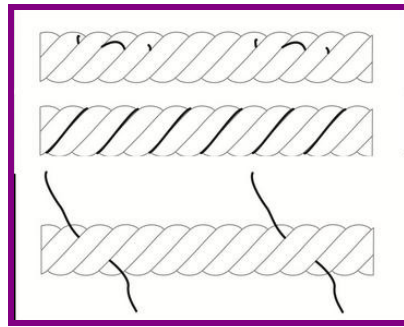


Figure 10: Les méthodes de pose de la cordelette ensemencée sur la corde

Quand les plantules ont atteint une taille suffisamment grande, la phase de grossissement en mer peut démarrer. Le type d'installation dépend des caractéristiques de chaque site (courant, vent, houle). Nous distinguons deux grands types de structure : les dispositifs horizontaux et les dispositifs verticaux. [12]

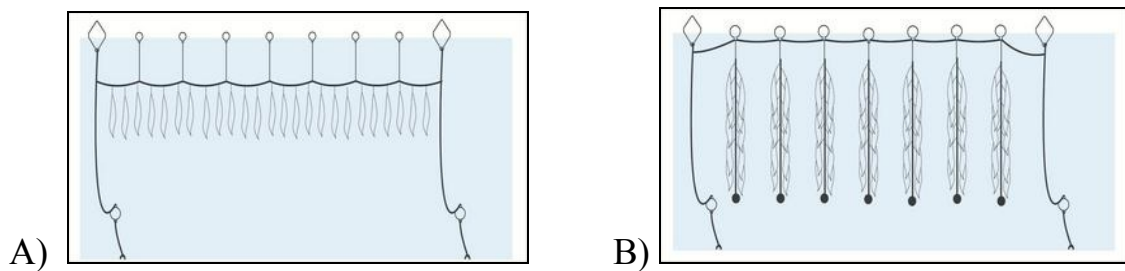


Figure 11: A) Dispositif horizontal ; B) Dispositif vertical

Les photos ci-dessous illustrent cette technique de culture en pleine eau :



Figure 12: Filière en mer



Figure 13: Culture de Saccharina latissima



Figure 14: Culture d'Alaria esculenta

I.2.2 Culture des micro-algues :

Industriellement, trois procédés de production des micro-algues sont actuellement utilisés pour la culture des micro-algues (notamment les *chlorelles*) :

-En réacteurs hétérotrophes (entièrement clos) ;

-En bassins à ciel ouvert (la production de *chlorelle* en bassins ouverts coûte 5 fois plus chère que la production en réacteurs fermés) ;

-Sous tubes de verre (ce type de production en photo-bio-réacteurs est plus 10 fois plus chère qu'en réacteurs hétérotrophes). [13]

De ces modes de culture sont produites des *Chlorelles* aux propriétés et compositions variables. Selon qu'elles seraient produites à la lumière ou non, à l'air libre ou pas, leur composition sera différente notamment dans leur teneur en vitamine B12, avec des bactéries associées ou non...[13]

Les procédés en milieu hétéro-trophique n'utilisent pas la réaction de photosynthèse de l'algue. Celle-ci se développe alors en consommant les sucres qu'elle trouve dans son milieu de culture. Cette *Chlorelle* ne contient pas de vitamine B12. [13]

Plus de la majorité des *Chlorelles* cultivées et consommées dans le monde est produite en réacteurs hétérotrophes de type fermenteurs. Il est donc possible de trouver sur le marché des *Chlorelles* très peu chères. [13]

Les productions en bassins à ciel ouvert ne peuvent pas éviter le contact avec l'environnement et ses contaminants, qu'ils proviennent de l'air (le vent,

les insectes, les oiseaux) mais aussi de l'eau (la pluie), la terre (les poussières). Il est nécessaire de stériliser les productions ainsi obtenues. [13]

La production en photo-bio-réacteurs ou en tubes de verre, s'effectue en milieu entièrement contrôlé et sécurisé. Tous les « entrants » sont sous contrôle. La photosynthèse, favorisée par la lumière naturelle, permet à la plante de se développer. [13]

- La récolte des micro-algues après leur culture :

La récolte est une étape assez complexe au niveau pratique car elle nécessite des équipements spécifiques. Les différentes techniques de récolte :

- La récolte primaire : c'est un type de récolte qui va séparer les algues du milieu de culture. Elle s'effectue selon plusieurs méthodes :

1-Coagulation-floculation : Deux réactions sont utilisées, premièrement la coagulation qui est la déstabilisation des charges se trouvant autour d'une micro-algue. Après avoir déstabilisé les charges, la floculation entre en jeu. Cette réaction correspond à la formation de floes de plus grandes tailles que les algues, c'est-à-dire que les algues vont regrouper et former des particules plus grosses. [14]

Pour cela, un agent coagulant et un agent floculant sont nécessaires. Les coagulants sont de nature organique ou minérale tandis que les floculants sont de nature minérale. Grâce à cette technique, les algues se retrouvent au fond du bassin et la récolte est plus simple. [14]

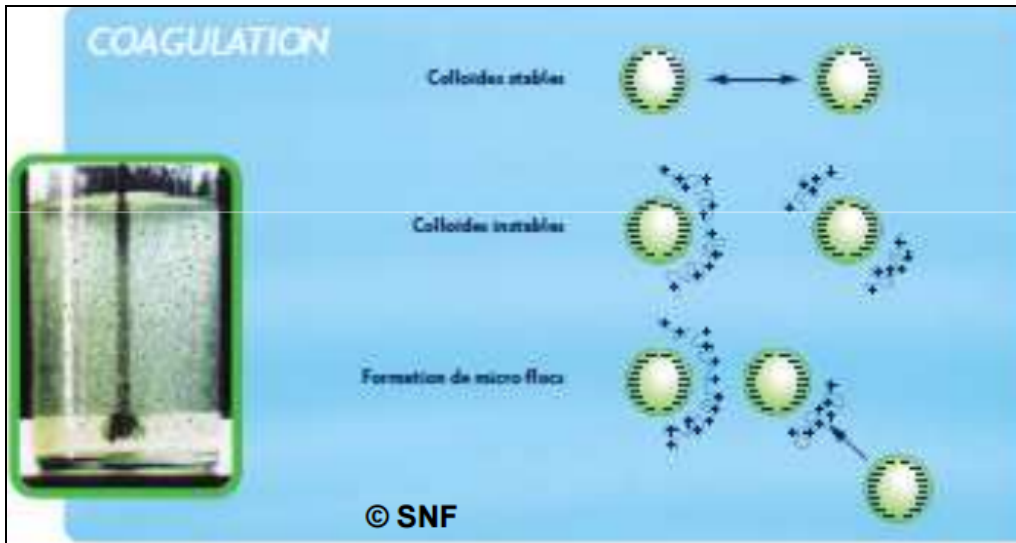


Figure 15: La coagulation

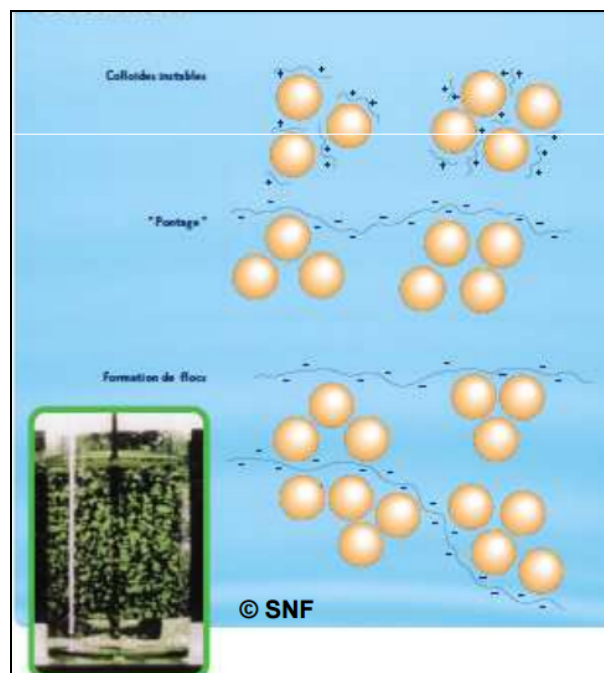


Figure 16: La floculation

2-Electro-floculation : Cette réaction consiste en l'envoi de pulses électromagnétiques dans le milieu de culture pour aussi déstabilisé les charges des algues. L'avantage majeur est qu'il n'y a aucun produit chimique introduit, cependant cette méthode a un coût en énergie électrique. [14]

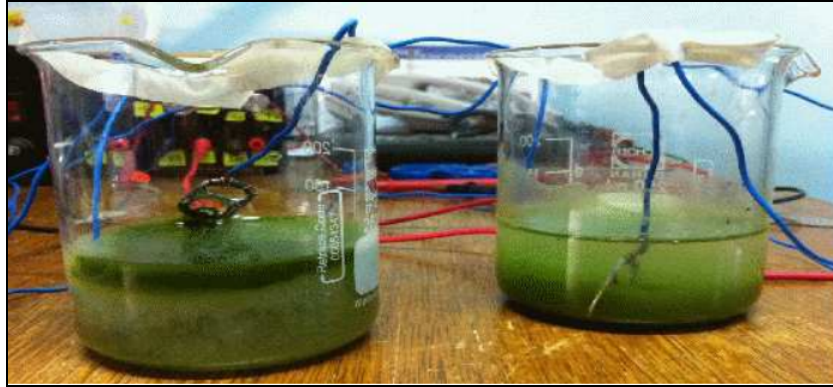


Figure 17: L'électro-floculation

3-Auto-floculation : La modification du pH peut être un facteur de floculation, cependant cette technique reste aléatoire mais elle ne consomme pas d'énergie. Pour cela le milieu de culture peut aussi être modifié. [14]

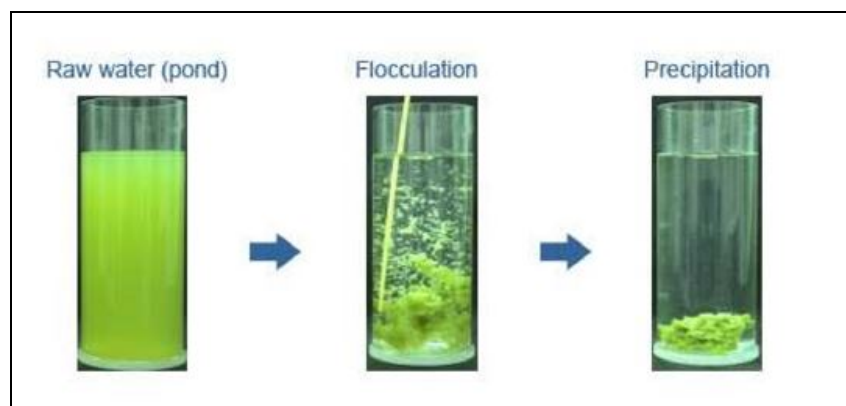


Figure 18: l'auto-floculation

4-La bio-floculation : L'ajout de bactéries filamenteuses peut être provocateur d'une floculation car ces bactéries vont enfermer les micro-algues entre elles. Cette technique ne coûte pas en énergie et ne nécessite pas de produit chimique mais il faut choisir la bonne bactérie à introduire. [14]

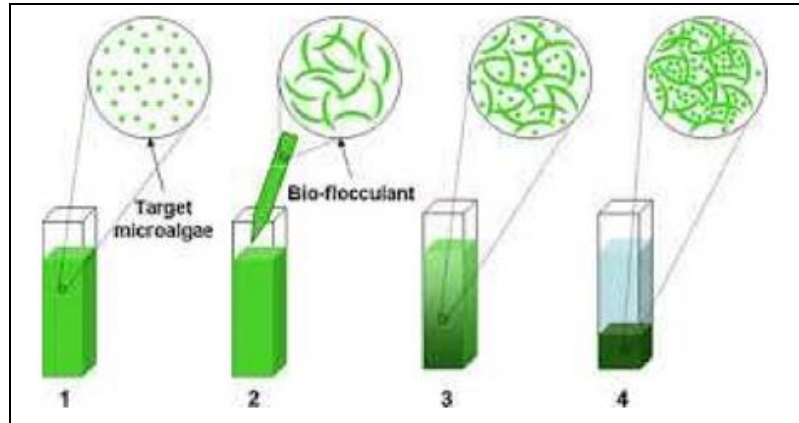


Figure 19: La bio-floculation

Pour séparer ensuite les algues du milieu, il y' a deux méthodes :

-La décantation : C'est la récupération des algues sans le milieu de culture dans une ampoule à décanter grâce à l'action de la gravité. Son coût en énergie. [14]



Figure 20: Bac de décantation

-La flottation : C'est l'envoi d'air en dessous des flocs d'algues pour les faire flotter et récupérer à la surface, les algues cultivées. [14]

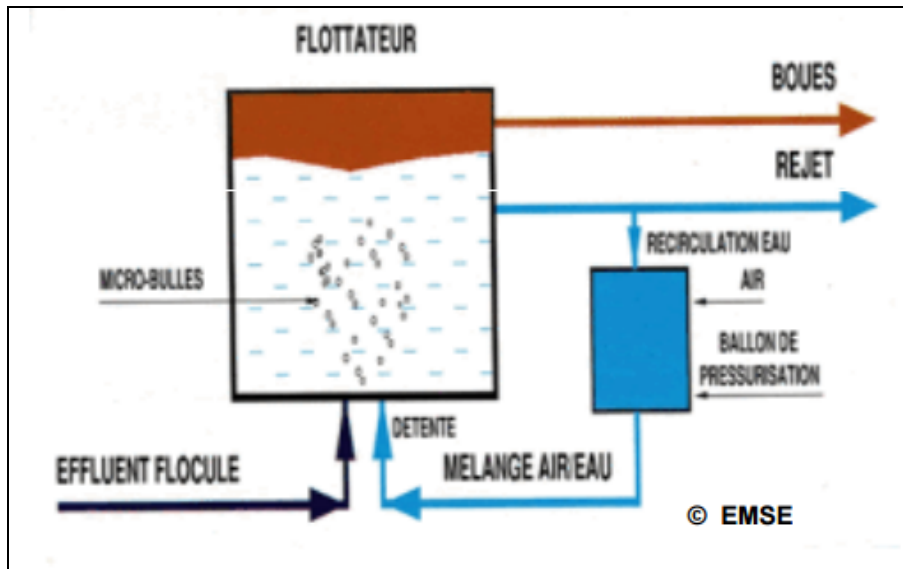


Figure 21: Le flottateur

- La récolte secondaire s'effectue comme suit :

1-La centrifugation : Elle est très efficace mais consomme beaucoup d'énergie. Cette méthode repose sur la force centrifuge pour que les algues s'amassent au fond du tube à essais. D'autres centrifugeuses plus sophistiquées permettent de séparer directement les algues et l'eau grâce à la force centrifuge. [14]

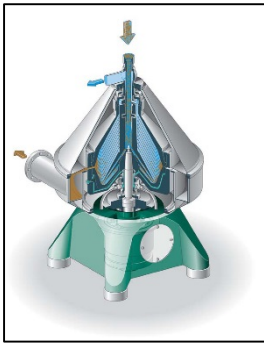


Figure 22: La centrifugeuse à assiette

Centrifugeuse à assiette est une centrifugeuse industrielle. Elle permet la séparation du liquide et du solide grâce à la force centrifuge. Si les solides sont plus lourds, ils se dirigent vers la périphérie de la centrifugeuse, tandis que s'ils sont plus légers, ils se dirigeront vers l'axe du bol.

2-La filtration/ ultrafiltration : La filtration se divise en plusieurs méthodes :

-La filtration traditionnelle : Il faut utiliser un filtre, très fin, dans lequel nous versons la culture. Les algues vont être récupérées en filtrat.

-La filtration par bande passante : Cette technique nécessite une machine, qui va récupérer la culture sur des bandes de filtre. Cette bande va être étirée et compressée pour enlever l'eau du milieu de culture. Puis les algues seront envoyées dans un récipient. Ce mécanisme se fait à l'aide de plusieurs rouleaux qui tournent et étire la toile. [14]

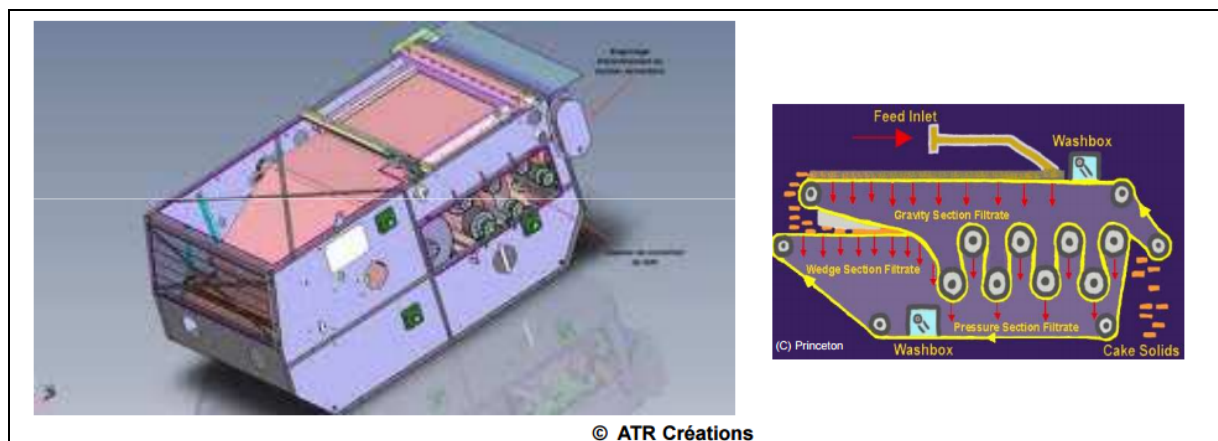


Figure 23: La machine de filtration par bande passante

-La filtration tangentielle : Est une filtration à travers une membrane pour concentrer le milieu. Les membranes sont en céramique ou organiques (polymères). [14]



Figure 24: La filtration tangentielle

-La filtration par membranes immergées :

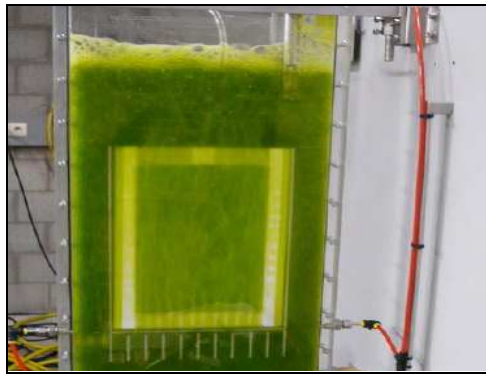


Figure 25: La filtration par membranes immergées

3-Le séchage :

-Séchage au soleil : Les algues doivent être étalées sur une grande surface, il faut espérer avoir un climat idéal (soleil) et en industrie, il faut une main d'œuvre importante lorsqu'il y a beaucoup d'algues à sécher. Cependant, il n'a que l'énergie lumineuse des rayons du soleil qui est utilisée. [14]



Figure 26: Le séchage solaire artisanal



Figure 27: Le séchage solaire industriel

-Séchage thermique : Ce type de séchage est très efficace car les algues seront totalement sèches mais il consomme beaucoup d'énergie. Les principales installations sont les gros fours thermiques pour avoir un meilleur rendement en temps. Ces fours ont un système de rotation pour sécher plus rapidement l'eau agitée. [14]

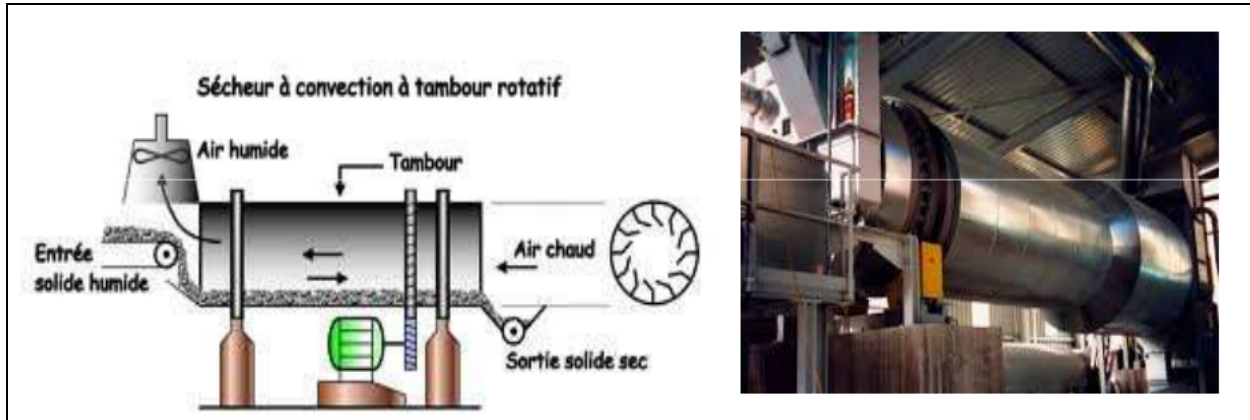


Figure 28: Four pour séchage thermique

→ La production des algues dans le monde :

La production mondiale de macro-algues s'élève à près de 25 millions de tonnes en 2013 (FAO, 2014) : 96 % de ce tonnage provient de la culture d'algues dans les pays d'Asie de l'Est et du Sud-Est, et le reste provient d'Amérique du Sud, d'Afrique, d'Europe puis d'Océanie. [15]

La figure 29 présente la production mondiale de macro-algues de 1990 jusqu'à 2012.

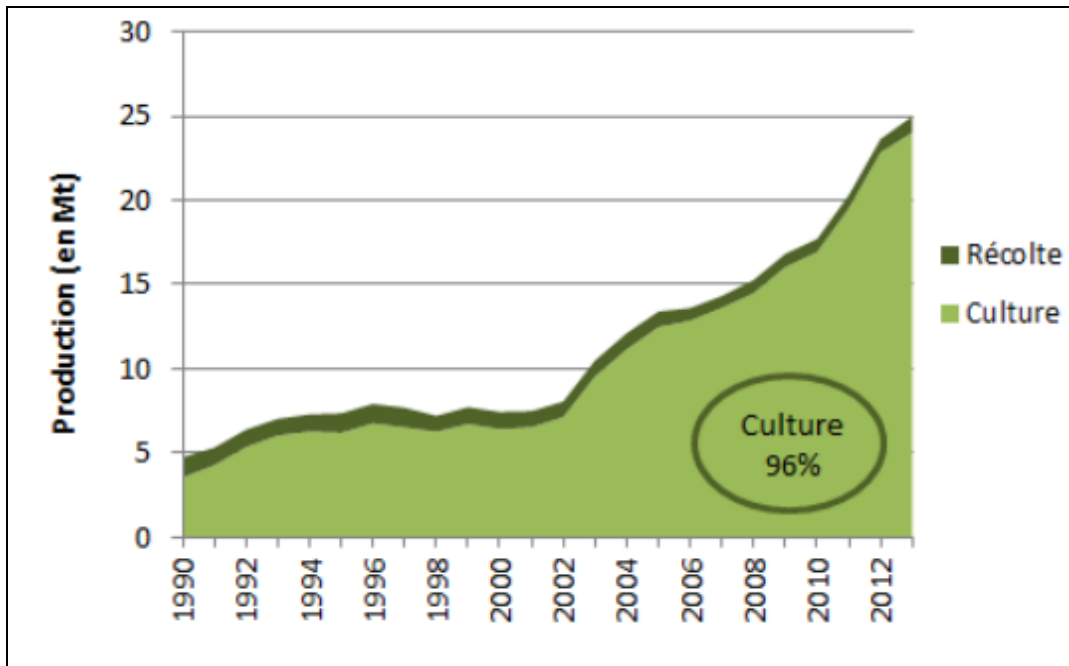


Figure 29: Production mondiale de macro-algues

L'Europe participe de manière très anecdotique à la production mondiale, avec une production d'environ 320 000 t en 2013. La quasi-totalité de son tonnage est produite à partir d'algues sauvages (près de 87 %) et provient majoritairement de la Norvège, de la France et du Danemark. [15]

La figure 30 représente les principaux pays producteurs d'algues.

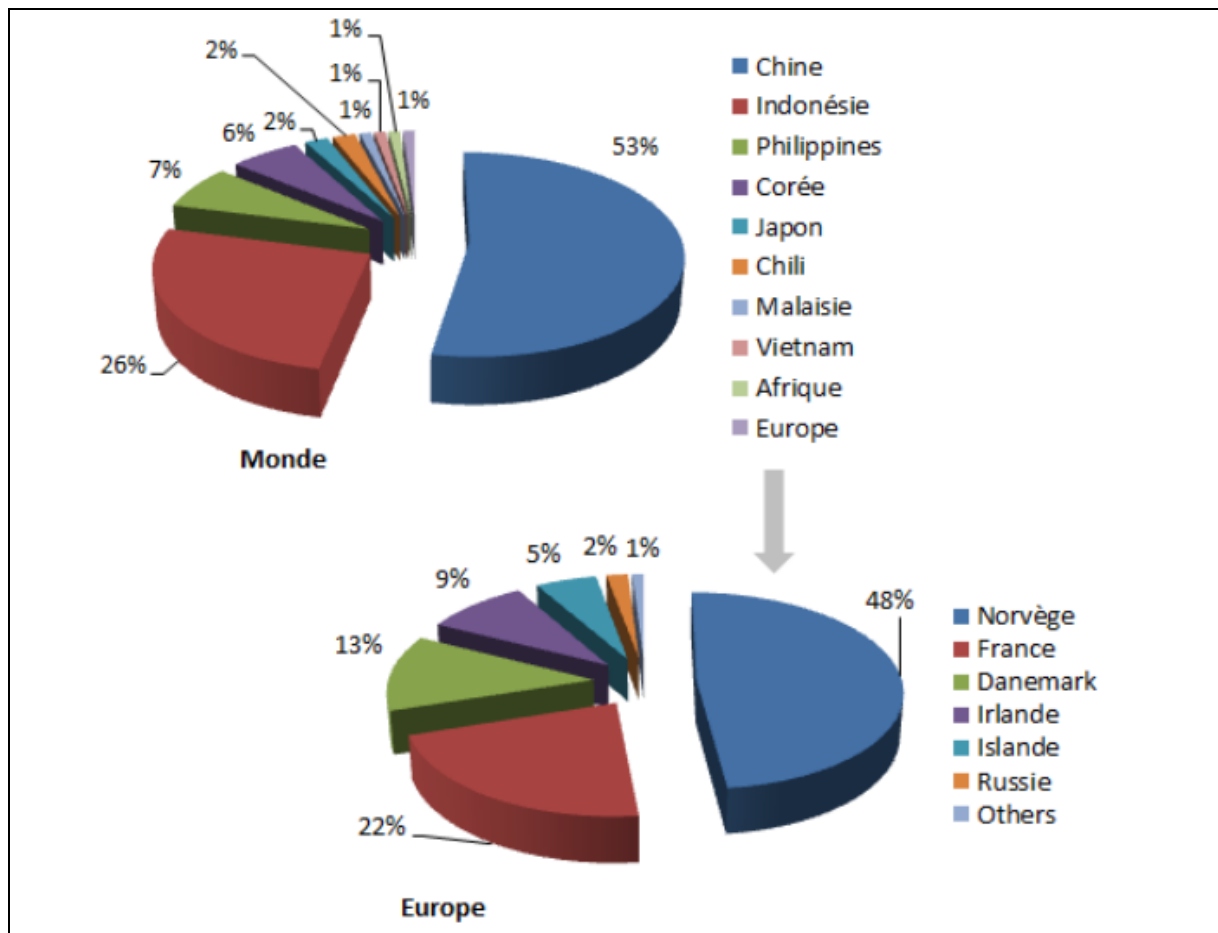


Figure 30: Principaux pays producteurs d'algues dans le monde et en Europe en 2013

II. Collecte, production et transformation des algues en France :

II.1 Algues récoltées :

Dans le passé, moins de dix espèces d'algues étaient récoltées sur le littoral français (Tableau II).

Actuellement, ce sont plus de 20 espèces qui sont récoltées ou cultivées en France.

Ces espèces sont réparties en trois catégories : les algues brunes, rouges et vertes. [11]

➔ Le tableau II représente les espèces d'algues récoltées en France :

Tableau II: Les espèces d'algues récoltées en France

	Passé	Présent
ALGUES BRUNES	<i>Ascophyllum nodosum</i>	<i>Ascophyllum nodosum</i>
	<i>Fucus serratus</i>	<i>Fucus serratus</i>
	<i>Fucus vesiculosus</i>	<i>Fucus vesiculosus</i>
		<i>Fucus spiralis</i>
	<i>Laminaria digitata</i>	<i>Laminaria digitata</i>
	<i>Laminaria hyperborea</i>	<i>Laminaria hyperborea</i>
		<i>Laminaria saccharina</i>
		<i>Himanthalia elongata</i>
		<i>Pelvetia canaliculata</i>
ALGUES ROUGES		<i>Asparagopsis armata</i>
	<i>Chondrus crispus</i>	<i>Chondrus crispus</i>
		<i>Corallina officinalis</i>
		<i>Delesseria sanguinea</i>
		<i>Dilsea carnosa</i>
		<i>Gracilaria sp.</i>
		<i>Gelidium sesquipedale</i>
		<i>Laurencia pinnatifida</i>
	<i>Mastocarpus stellatus</i>	<i>Mastocarpus stellatus</i>
	<i>Palmaria palmata</i>	<i>Palmaria palmata</i>
		<i>Porphyra umbilicalis</i>
ALGUES VERTES		<i>Ulva species</i>
		<i>Enteromorpha species</i>

II.1.1 Algues brunes :

La catégorie des algues brunes peut être divisée en deux groupes : les « Laminariales » et les « Fucales ». [11]

- Les laminariales :



Figure 31: Laminaria digitata

L. digitata est une algue de couleur brun foncé doté d'un stipe lisse et flexible. Elle peut atteindre entre 3 et 4 mètres de longueur. *L. digitata* a un cycle de vie pouvant atteindre 4 à 5 ans. Fixée par un crampon, cette algue brune se développe sur des fonds rocaillieux dans la frange supérieure de l'étage infralittoral en mode abrité à semi battu est de 1 à 25 mètres de profondeur. [11]

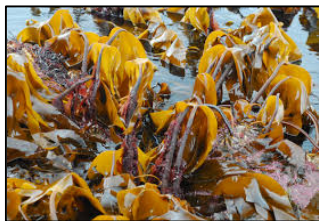


Figure 32: Laminaria hyperborea

L. hyperborea peut atteindre 3 mètres de long. Cette algue brune atteint souvent des durées de vie de plus de 10 ans. La période de reproduction s'étale de novembre à avril. *L. hyperborea* se développe sur des fonds rocaillieux au niveau de l'étage infralittoral en mode battu. [11]



Figure 33: Saccharina latissima (ex-Laminaria saccharina)

S. latissima, aussi appelée « Laminaire sucrée » ou « Kombu royal », présente une lame gaufrée et ondulée. Fixée par un stipe court, cette laminaire peut atteindre 3 mètres de long. Le nom de cette espèce provient des

sucre cristallisé qui se forment lors du séchage de *S. latissima*. Dans les régions de l'Atlantique et de la Manche, la croissance de cette algue brune est continue et sa durée de vie reste inconnue à ce jour. *S. latissima* est présente dans des cuvettes rocailleuses au niveau bas du littoral et à une profondeur de 20 mètres à l'étage infralittoral. [11]



Figure 34: Undaria pinnatifida

U. pinnatifida est une espèce introduite du Japon, aussi connue sous le nom de « wakamé ».

U. pinnatifida est la première espèce cultivée en mer entre la surface et un mètre de profondeur.

Cette espèce présente une lame mince, en forme de feuille. Le stipe est aplati et traverse la lame en son milieu. Le thalle est de couleur brun-jaunâtre et mesure habituellement de 60 à 120 centimètres, mais peut atteindre 2 mètres de longueur. [11]

- Les Fucales :



Figure 35: Ascophyllum nodosum

A. nodosum est une espèce à long cycle de vie. Les frondes peuvent atteindre 10 ans et la base, constituée par les crampons, est considérée comme une structure pérenne, âgée de plus d'un siècle. *A. nodosum* présente des

frondes longues, souples et ramifiées, avec plusieurs lanières de 1 à 1,5 mètres de long. Les flotteurs sont présents sur toute la longueur des lanières, ce qui permet à l'algue de s'élever à marée haute afin de recevoir plus de lumière. *A. nodosum* se développe à l'étage médiolittoral en mode abrité. [11]



Figure 36: Fucus serratus

Fucus serratus, ou fucus dentelé, est une algue robuste, arbustive, de couleur brun-olive qui pousse en colonies assez denses. Les frondes ne présentent pas d'aérocystes. La plante intégrale atteint généralement 60 centimètres de long. Les frondes présentent une bordure dentelée et sont portées par un pied court. *F. serratus* pousse sur des sols durs à l'étage infralittoral en mode abrité. [11]



Figure 37: Fucus vesiculosus

Le fucus vésiculeux *Fucus vesiculosus* est une grande algue brune. Elle pousse dans la zone intertidale en zone rocailleuse et se trouve en colonies denses avec un cycle de vie d'environ 4 à 5 ans. *Fucus vesiculosus* est souvent à proximité d'*A. nodosum*, en aval de *Fucus spiralis* et dans une zone en amont de l'estran par rapport à *Fucus serratus*. Dans le Maine en Amérique, les frondes peuvent atteindre jusqu'à 2 mètres. [11]



Figure 38: Fucus spiralis

Fucus spiralis est une algue qui pousse en limite supérieure marée, en aval de la zone de *Pelvetia canaliculata* et en amont de *Fucus vesiculosus* et d'*Ascophyllum nodosum*. Cette espèce se fixe au substrat rocheux en mode abrité à semi-battu. L'algue peut atteindre jusqu'à 40 centimètres de long, ne présente pas d'aérocystes et peut vivre jusqu'à 4 ans. Elle peut tolérer un haut niveau de dessiccation. Les frondes présentent une nervure caractéristique le long des réceptacles. [11]



Figure 39: Himanthalia elongata

Cette espèce se fixe sur des sols durs dans des zones semi-battues. Cette algue pousse au niveau inférieur de la zone intertidale, où elle se développe en ceinture, en aval de *Fucus serratus* et en amont de la zone des laminaires. [11]



Figure 40: Pelvetia canaliculata

Pelvetia canaliculata est une algue brune répandue au niveau haut de l'estran. Cette espèce tolère très bien la dessiccation et peut être découverte plusieurs jours d'affilée lors des marées de mortes eaux. *P. canaliculata* a un cycle de vie d'environ 4 ans et peut atteindre 15 centimètres de long. Cette espèce pousse en colonie en amont de *Fucus spiralis* et peut tolérer un mode ultra-abrité à semi-battu. [11]

II.1.2 Algues rouges :



Figure 41:
Chondrus
crispus



Figure 42:
Mastocarpus
stellatus

En France, *Chondrus crispus* pousse depuis la frange littorale jusqu'à environ 20 mètres sous le niveau de basse mer moyen,

selon le mouvement des vagues, la transparence de l'eau et la structure rocheuse disponible. *M. stellatus* pousse légèrement en amont de *C. crispus* à laquelle elle peut se mélanger, mais uniquement dans la zone intertidale et elle n'est pas présente en zone infralittorale.

Habituellement, ces espèces sont abondantes depuis la zone de basse jusqu'à la zone médio-supra littorale. Elles poussent particulièrement bien sur les gros blocs et rochers et préfèrent les surfaces horizontales. La croissance atteint son apogée à la fin du printemps et en été. [11]



Figure 43: Palmaria
palmata

Palmaria palmata est une algue rouge feuillue présentant une fronde plate dure, d'une longueur de 20 à 50 centimètres, mais atteignant parfois un mètre. *P. palmata* se développe à une profondeur de 20 mètres en mode abrité à semi-battu. [11]



Figure 44: Porphyra umbilicalis

Porphyra umbilicalis, aussi appelée *Nori*, est une petite algue rouge (jusqu'à 20 centimètres), présentant une large fronde de forme irrégulière, membraneuse mais dure. L'algue s'adapte très bien aux conditions des différentes zones d'un littoral rocailleux et peut résister à des périodes prolongées d'exposition à l'air. Cette espèce se développe individuellement ou sous forme de colonies denses sur tout l'étage médiolittoral, mais se trouve plus fréquemment en zone supra-littorale. [11]



Figure 45: Gelidium sesquipedale

Cette algue rouge sombre est répandue au niveau de l'étage infralittoral mode battu. De consistance rigide et cartilagineuse, sa taille peut atteindre 25 à 35 centimètres.

[11]



Figure 46: le maërl (Lithothamnium corallioides et Phymatholithon calcareum)

Le terme de maërl désigne des accumulations d'algues calcaires rouges vivant sur les fonds meubles infralittoraux. En Europe les deux espèces principales sont *Lithothamnium corallioides* et

Phymatholithon calcareum. Les bancs se forment par accumulation de ces algues sur une épaisseur variant de quelques centimètres à plusieurs mètres. Les bancs de maërl constituent un réservoir de biodiversité : plus de 900 espèces d'invertébrés et 150 espèces d'algues y ont été recensées le long des côtes de Bretagne. [11]

II.3.1 Algues vertes :



Figure 47: Espèce Ulva

Les ulves sont de petites algues vertes présentant une large fronde fripée, dure, translucide et membraneuse. L'algue se fixe à la roche *via* un petit crampon. La laitue de mer *Ulva lactuca* pousse sur toute la zone intertidale. En mode très abrité, les plantes qui se sont détachées du substrat peuvent continuer à pousser et forment de grandes communautés flottantes. Cette algue tolère des conditions saumâtres et pousse sur des substrats adaptés dans les estuaires. [11]



Figure 48: Codium

Codium est une petite algue verte (jusqu'à 30 centimètres de longueur). La fronde est solide et spongieuse, présentant un aspect velouté. Le crampon est discoïde et formé de très nombreux filaments. Cette espèce se fixe à des rochers exposés et se développe dans les cuvettes au niveau de l'étage infralittoral. [11]

II.2 Méthodes de récolte et de production des algues :

La production française des algues est estimée à 70000 tonnes récoltées annuellement. Les algues sauvages représentent la majeure partie de la production, elles sont récoltées en mer, sur l'estran, ou lorsqu'elles sont échouées, sur le rivage. En France les algues sauvages sont principalement récoltées le long des côtes bretonnes. Seules 50 tonnes d'algues proviennent de l'algoculture. [11]

II.2.1 Techniques de récolte :

En France, la récolte des algues est réalisée soit en mer, à l'aide de navire goémoniers utilisant des engins mécanisés (scoubidou et peigne), soit sur l'estran par des récoltants à pied. [11]

❖ Pêche mécanisée des algues en mer :

Selon les espèces ciblées, il existe différentes techniques de récolte à bord de navires. *Laminaria digitata* est récoltée par des navires goémoniers (Figure 49). Ces derniers sont équipés d'une grue articulée sur laquelle est fixé un scoubidou. Cet engin en forme de crochet, inventé à la fin des années 60, entraîne les laminaires par un mouvement de rotation puis d'arrachage.

Les images suivantes représentent les navires utilisés dans la récolte des algues. [11]

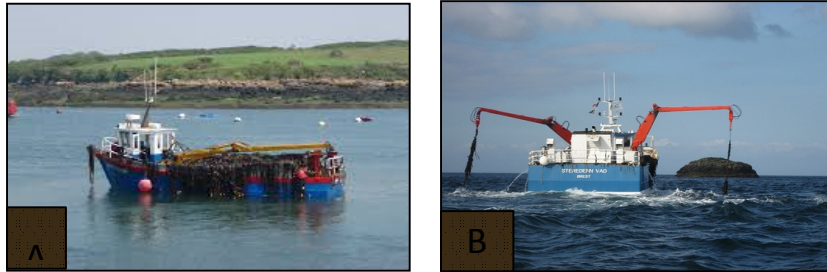


Figure 49 : A) *Laminaria digitata* : récolte d'une journée B) navire équipé de deux scoubidous

Laminaria hyperborea est également récoltée à partir de navires goémoniers. Les pêcheurs bretons utilisent une technique utilisée par les pêcheurs norvégiens de *L. hyperborea*.

L'engin de pêche consiste en une sorte de peigne, trainée par le navire à la manière d'une drague au travers des champs de *L. hyperborea* ce qui permet de déraciner les plus gros. Le peigne est fixé à une grue et après environ deux minutes de dragage, la grue lève le peigne ainsi que la prise et les dépose sur le navire. [11]

Les laminaires sont débarquées au port de Lanildut ainsi que dans d'autres petits ports du Finistère, puis sont transportées par camion vers les deux principales usines de transformation situées autour de Brest.

L'extraction de *maërl*, *Lithothamnium calcareum*, nécessite également l'usage d'un navire appelé « sablier », qui aspire *L. calcareum* à l'aide d'une drague aspirante. Toutefois, cette exploitation semble avoir un impact négatif sur l'écosystème et sur la ressource. Cette espèce fait partie de la liste des espèces et habitats menacés et/ou en déclin, elle fournit également un refuge pour de nombreuses espèces marines. Pour cette raison, son exploitation devrait être interdite.

De manière plus anecdotique, au pays basque, l'algue rouge *Gelidium sesquipedale*, principalement récoltée sur le rivage par les récoltants à pied, peut être ramassée en mer. Cinq à six ligneurs palangriers à merlus et fileyeurs de moins de 12 mètres récoltent les algues à la dérive de Septembre à Janvier à l'aide d'un filet à proximité de la côte. [11]

❖ Récolte manuelle des algues de rive :

Les techniques de récolte utilisées par les récoltants à pied varient selon les espèces ciblées. *Chondrus crispus* et *Mastocarpus stellatus* sont les seules algues, avec *Laminaria sporongira*, à pouvoir être déracinées des rochers. Les

récoltants remplissent des sacs et les tirent jusqu'en haut des rochers. Une autre méthode consiste à remplir une petite embarcation qui est tirée vers la grève lorsque la marée monte.

Ascophyllum nodosum et *Fucus spiralis* doivent être découpées au-dessus du crampon. Les algues sont ensuite chargées sur une remorque tirée par des tracteurs. En 2003, des expérimentations ont été menées pour la mécanisation de la récolte à l'aide d'un navire, mais aujourd'hui seul un navire pratique cette activité. [11]



Figure 50 : Ramassage d'*Ascophyllum nodosum* sur le littoral breton, France

En plus de la pêche à partir de navires de pêche, *Gelidium sesquipedale* est ramassée sur ou près de l'estran après les tempêtes lorsque les algues ont été déracinées. Il existe deux méthodes principales de ramassage depuis le rivage : les récoltants peuvent utiliser un filet à partir de la grève, qu'ils tirent à l'aide d'un bulldozer, ou dans les zones difficiles d'accès, les récoltants peuvent ramasser les algues d'échouage à l'aide d'une fourche.

Laminaria hyperborea peut être ramassée à pied dans le nord Finistère où les stipes sont récoltés à l'aide de fourches et chargés dans des remorques.

Cette activité permet de compléter l'approvisionnement en alginate des entreprises bretonnes. [11]

II.2.2 Zones de production et débarquements :

La figure 51 montre les zones de production des algues en France et la figure 52 représente les zones des algues vertes en Bretagne.

Actuellement, les macro-algues sont principalement récoltées en Bretagne, en mer et sur l'estran. La récolte mécanisée des Laminaires est réalisée essentiellement en mer d'Iroise (Bretagne ouest). Il existe également des champs de laminaires non exploités dans d'autres endroits en Bretagne et en Normandie. La récolte d'algue à pied est réalisée de Lampaul-Plouarzel (Finistère nord) jusqu'à Paimpol (Côte d'Armor). L'algue rouge *Gelidium sesquipedale* est récoltée dans le Pays Basque.

En France, la production des algues est largement dominée par la pêche de *Laminaria digitata* par les navires goémoniers (47 000 tonnes équivalent poids vif en 2011). La quantité de laminaires pêchées est établie en fonction de la demande des industries de transformation. Le volume total d'algues demandé par les industriels est ensuite réparti entre les navires goémoniers et un contrat est passé entre l'industriel et chaque pêcheur. [11]

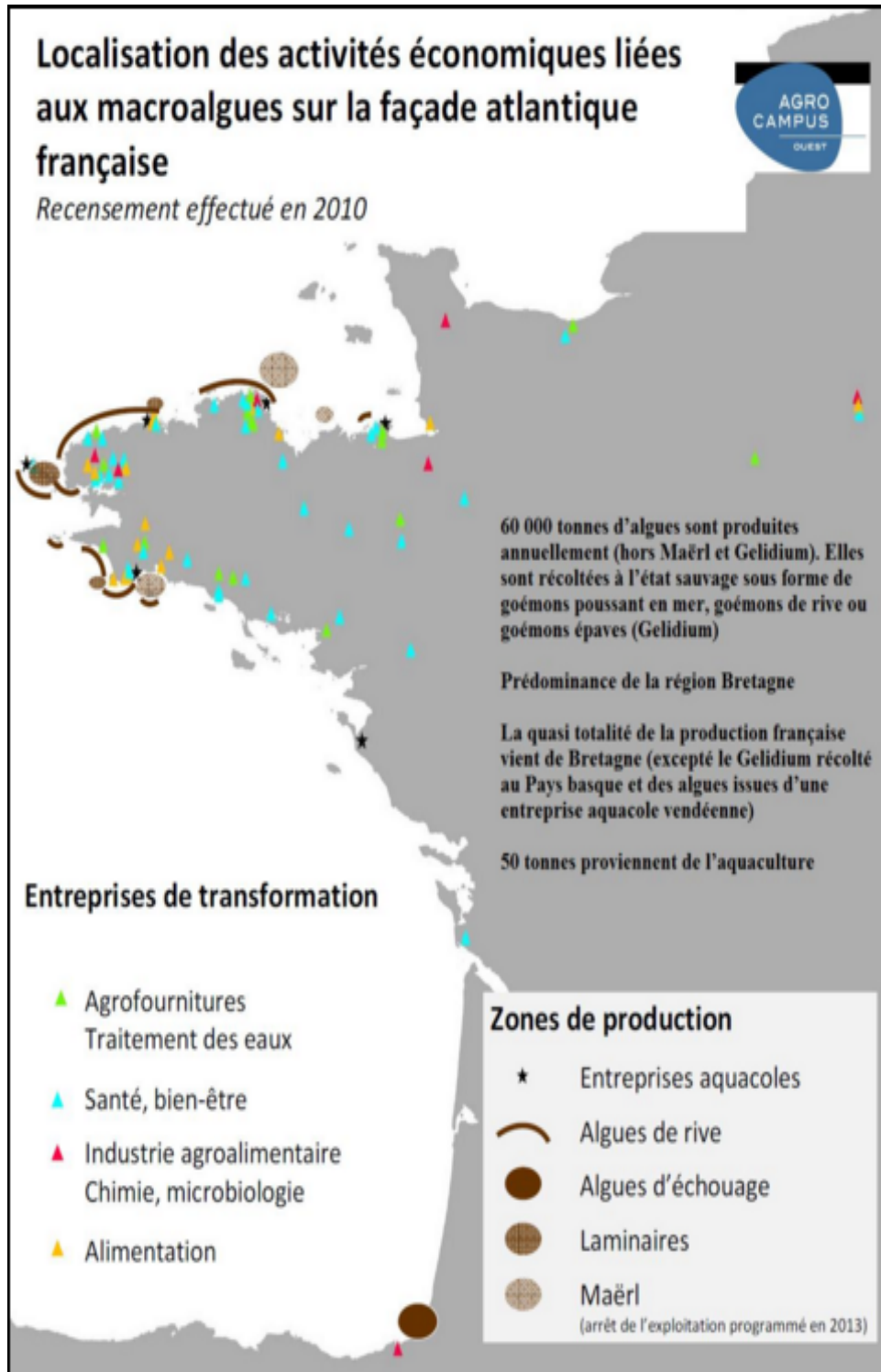


Figure 51: Les zones de production des algues en France

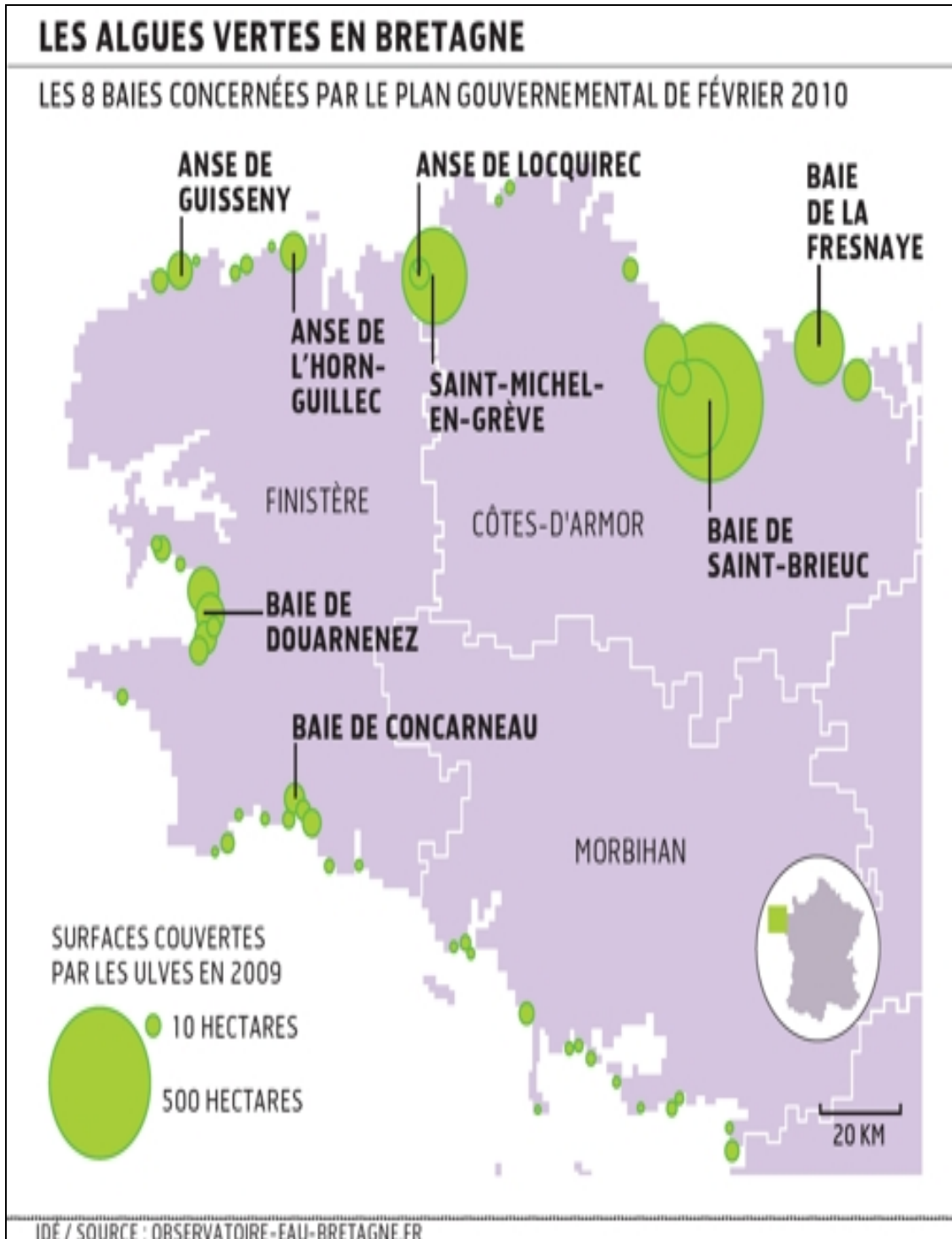


Figure 52 : La répartition des algues vertes en Bretagne

Concernant la *L. hyperborea*, le volume total des débarquements est limité par la réglementation à un maximum de 26 000 tonnes mais seulement 11 000 tonnes sont récoltées actuellement. Au total, entre 40 000 et 60 000 tonnes de laminaires (*L. digitata* et *L. hyperborea*) sont récoltées chaque année par environ 35 goémoniers, pour un chiffre d'affaire de 1,7 à 2,7 millions d'euros.

La production bretonne de Fucales (*Fucus spp.* et *Ascophyllum nodosum*) est estimée à 6000 tonnes (ramassées en 2008), (Chambre Syndicale des Algues, 2012). En 2011, les récoltants costarmoricains ont ramassé 3226 tonnes d'*Ascophyllum* et 1 910 tonnes de fucales (chiffres issus de la Commission de suivi Goémon de rive du 6/12/11).

Ces fucales ainsi que les algues alimentaires diverses sont récoltées sur l'estran par des récoltants professionnels ou occasionnels. Une étude menée en 2011 (Reydet et Bohm, 2011) a permis d'estimer le nombre de récoltants à pied : environ 50 récoltants professionnels et 500 récoltants occasionnels en 2010. Les récoltants professionnels ont une activité tout au long de l'année et les récoltants occasionnels, plus nombreux ont une activité saisonnière et sont employés par les entreprises de transformation.

Concernant le *Gelidium sesquipedale*, 70 % de la récolte provient du ramassage des algues d'échouages à terre et seuls quelques pêcheurs réalisent cette activité. [11]

II.2.3 La transformation des algues :

Bien que certains pays possèdent le savoir-faire et maîtrise les techniques de culture de plusieurs espèces de macro-algues, ce mode de production reste limité à quelques algoculteurs bretons produisant de faibles volumes destinés à

des marchés à forte valeur ajoutée (alimentaire, cosmétique, etc.). La production actuelle est estimée à 50 tonnes avec la production essentiellement de deux algues : *Undaria pinnatifida* (Wakamé) et *Saccharina latissima* (Kombu). En 2010, nous dénombrons six fermes d'algues ainsi que deux écloseries en Bretagne. Aujourd'hui, plusieurs projets sont en cours pour le développement de l'algoculture.

La figure 53 représente les entreprises de transformation des algues en Bretagne.

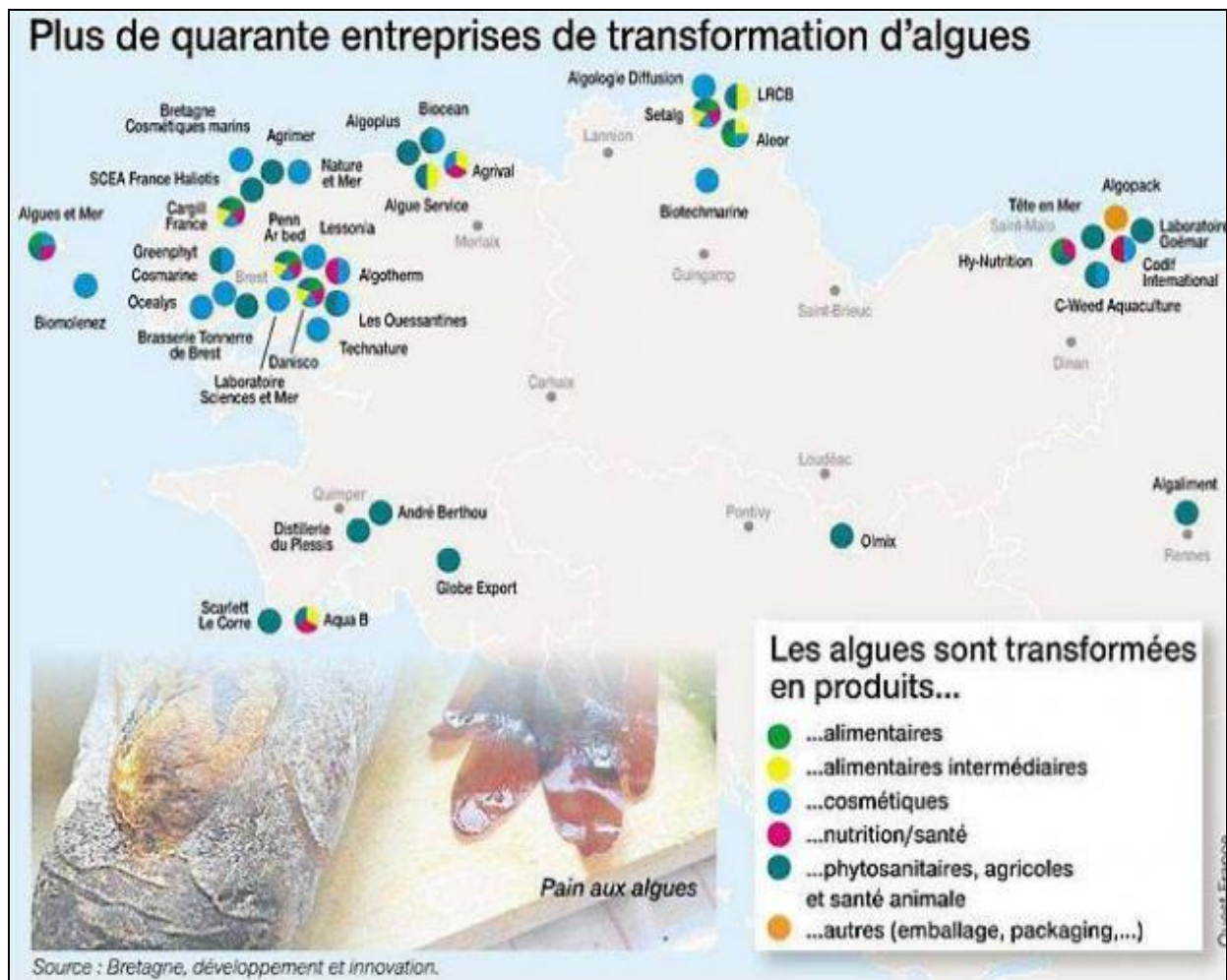


Figure 53: Les entreprises de transformation d'algues en divers produits (Bretagne)

Avec une production annuelle d'algues d'un peu plus de 70 000 tonnes, la France se situe au 10^e rang mondial. Très loin derrière le champion, la Chine, producteur et consommateur de quelque 12 millions de tonnes ! Environ 90 % de la production française vient de Bretagne, des côtes du Nord-Finistère et l'archipel de Molène essentiellement où 35 bateaux goémoniers ramènent à terre environ 65 000 tonnes de laminaires par an. Quelque 1000 récoltants à pied (dont 500 saisonniers) cueillent aussi 6000 tonnes d'algues de rive, dont le *chondrus crispus*, localement appelé « p'tit goem » ou pioca. [16]

Pour l'heure, la production annuelle issue de l'aquaculture ne représente qu'un peu plus de 50 tonnes. Afin de satisfaire les besoins d'un marché (en croissance annuelle de plus de 10 %) la France doit importer plus de 130 000 tonnes d'algues (équivalent frais), essentiellement du Chili, des Philippines et Tanzanie. [16]

Il existe deux types de transformation :

- La première transformation regroupe les activités à faible valeur ajoutée servant notamment à stabiliser la matière première après la récolte ou à lui donner une forme plus facile à entreposer comme le séchage ou l'extraction. [17]
- La deuxième transformation concerne des activités à valeur ajoutée plus élevée comme la préparation de plats cuisinés par exemple. [17]

Si la transformation des algues marines consistait traditionnellement en un séchage sur dune par les récoltants eux-mêmes, les techniques et procédés se sont largement développés pour répondre aux contraintes et attentes des différents domaines d'activité, notamment avec l'essor de la cosmétique et de l'alimentation humaine. [17]

La figure 54 représente les techniques et procédés de transformation étape par étape.

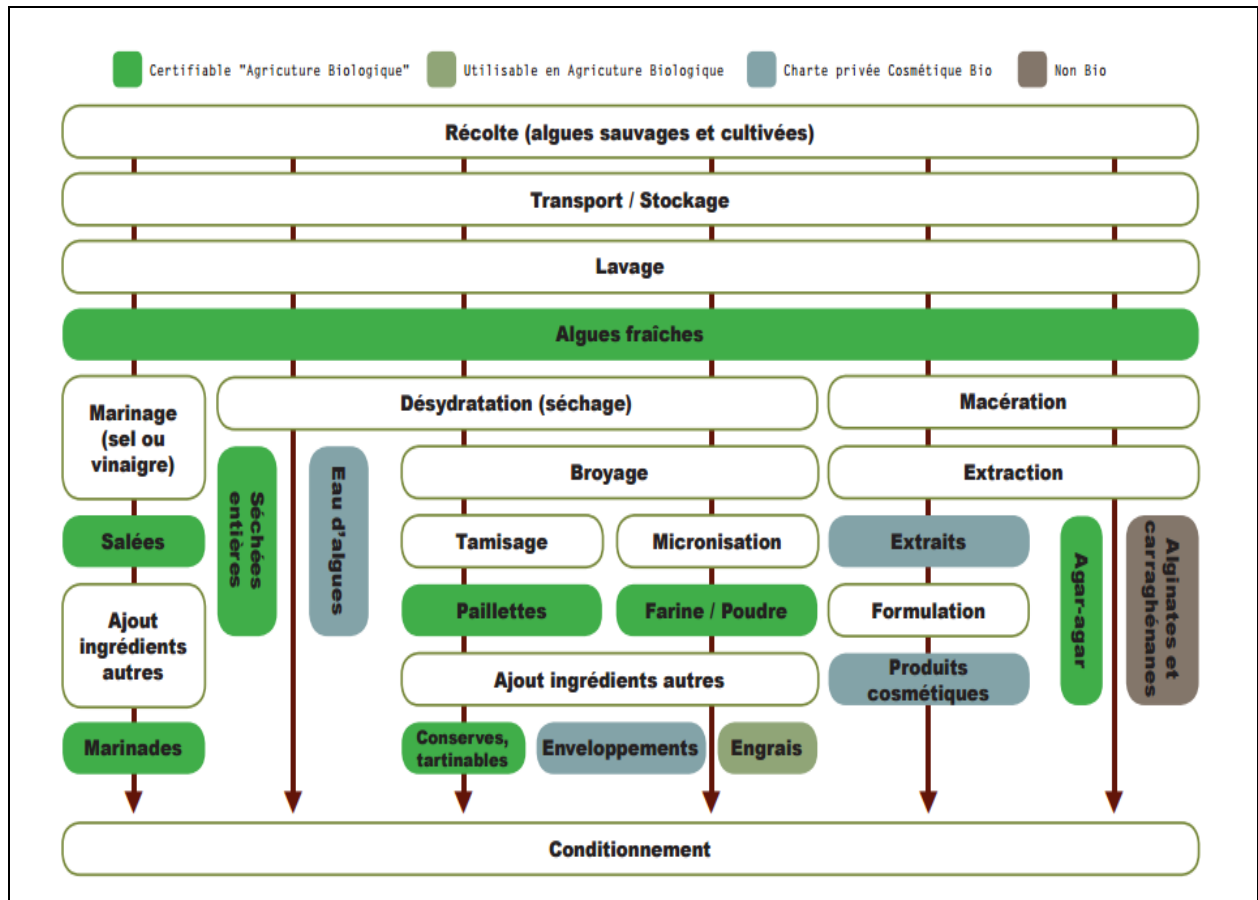


Figure 54: Schéma général des étapes de transformation des algues marines et leurs produits finis

Après récolte, les algues sont transportées jusqu'au lieu de transformation, par le récoltant lui-même, par l'entreprise de transformation qui achète les algues, ou par un transporteur.

Rapidement après la récolte, le plus souvent dans les 24 h, les algues sont transformées selon différents procédés. En attendant, ou si les volumes dépassent les capacités d'absorption de l'entreprise, les algues sont stockées. Nous pouvons utiliser une chambre froide ou un bac de décantation. [17]

Le lavage se fait à l'eau douce ou à l'eau de mer. Cela dépend notamment de l'espèce considérée. Certains opérateurs n'utilisent que de l'eau de mer afin de "préserver couleur et texture", d'autres optent pour un lavage à l'eau douce exclusivement (faute de raccordement à un système d'eau de mer) sans conséquence sur la qualité organoleptique des algues. Comme nous pouvons utiliser un système de bullage au cours de l'étape de lavage pour une meilleure élimination des déchets (sable, cailloux...). [17]

Après lavage, les algues sont conservées par salage ou séchage. Certains utilisent aussi la congélation ou la lacto-fermentation, qui est un procédé de transformation consistant à favoriser la fermentation lactique (absence d'oxygène et présence de sel), ce qui permet une longue conservation des produits et un enrichissement en vitamines. [17]

Plusieurs techniques de séchage existent :

- Le séchage naturel, sur dune ou en tunnel,
- Le séchage en four, à tabac (gaz) ou électrique.

Le temps de séchage est variable en fonction des espèces. Le degré d'humidité recherché dépend de l'utilisation ultérieure de l'algue, avec un rapport en volume d'une algue fraîche à sèche de 5 à 10. De très bons résultats en usine peuvent donner un taux d'humidité de 10%, mais la conservation des algues est garantie à partir d'un seuil d'humidité de 28%. [17]

Bio ou non, les algues destinées à l'alimentation humaine doivent répondre à la réglementation générale, portant notamment sur des teneurs en métaux lourds et des critères microbiologiques.

La réglementation Bio européenne encadre les étapes de lavage et séchage :

- Si le produit final est l'algue marine fraîche, seul le lavage à l'eau de mer est autorisé.
- Le séchage par contact direct de l'algue avec une flamme est interdit.

Le nettoyage des salissures organiques se fait à l'aide de moyens physiques ou à la main. Des moyens physiques ou mécaniques sont utilisés pour le nettoyage des équipements et installations. [17]

Des produits de nettoyage et de désinfection listés dans le règlement (CE) n°889/2008 peuvent néanmoins être utilisés si les moyens évoqués ci-dessus se révèlent insuffisants. Il est également préconisé d'employer des sources d'énergie renouvelables et de recycler les matériaux utilisés par les opérateurs. [17]

Les conditions d'utilisation des algues :

Le tableau III résume les conditions et quelques conseils d'utilisation des algues.

Tableau III: les conditions d'utilisation des algues.

LES ALGUES FRAICHES	LES ALGUES SECHES
TRAITEMENTS	
<p>Lorsqu'elles sont récoltées par les pêcheurs à pied, elles sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ triées et lavées à l'eau de mer pour les débarrasser du sable, des cailloux et des coquillages ○ égouttées puis salées progressivement avec du sel de mer. <p>Le sel qui est rajouté va servir à la conservation de l'algue.</p>	<p>Ce sont les mêmes étapes que pour les algues fraîches sans le salage.</p> <p>A la place, les algues sont déshydratées dans de grands séchoirs (température environ 40°C) dans les heures qui suivent la cueillette. La déshydratation à basse température permet de conserver les qualités nutritionnelles.</p> <p>Elles sont conditionnées en branches ou broyées pour former des paillettes de différents calibres</p>
DUREE ET CONDITIONS DE CONSERVATION	
<p>En général 6 mois après le salage.</p> <p>A conserver au réfrigérateur (0 à 4°C) à l'abri de la lumière qui peut entraîner une dépigmentation.</p>	<p>Elles se conservent 18 mois au sec, de préférence à l'abri de la lumière.</p>
CONSEILS D'UTILISATION	
<p>Les algues doivent être dessalées. Rincez-les à l'eau du robinet deux à trois fois en changeant l'eau à chaque fois. Puis essorez-les à la main.</p>	<p>Pour les cuisiner, vous n'êtes pas obligés de réhydrater les paillettes. Vous pouvez les incorporer comme des "herbes de Provence" à vos préparations.</p> <p>Pour réhydrater les algues en branches, il suffira de les plonger 15 minutes dans de l'eau puis de les essorer à la main.</p>

✚ **Les risques de pollution / contamination et les mesures prises par les opérateurs :**

Le tableau IV présente les risques de pollution / contamination et les mesures associées.

Tableau IV: Les risques rencontrés et les mesures prises par les opérateurs lors de la récolte et la transformation des algues marines.

Etape	Risque	Type de risque	Mesure
Récolte	Métaux lourds	Sanitaire	Analyses d'échantillons par des laboratoires (mesure post-récolte)
	Algues vertes		-
	Pollutions accidentelles de type <i>marée noire</i>		-
	Contamination microbiologique		Blanchiment, stérilisation (mesures post-récolte)
	Mauvaises pratiques de récolte	Environnemental, organoleptique*	Respecter le " <i>Guide de Bonnes pratiques de récolte des algues de rive</i> "
Stockage et transport	Méthanisation	Sanitaire	Protéger de la chaleur, utiliser un camion isotherme
	Contamination microbiologique / aux hydrocarbures		Utilisation de bacs ou sacs alimentaires, nettoyer la benne
Lavage	Contamination microbiologique	Sanitaire	Faire attention à l'eau utilisée (ex : <i>ne pas utiliser de l'eau de mer prélevée dans un port</i>)
	Corps étrangers	Organoleptique	Bullage
	Choc osmotique lié à l'utilisation d'eau douce		Utilisation de l'eau de mer**
	Traitement des effluents	Environnemental	Attention à l'utilisation d'eau de javel pour traiter les rejets
Séchage naturel	Contamination microbiologique	Sanitaire	Utilisation d'un tunnel, stérilisation
	Perte de couleur	Organoleptique	Utilisation d'un tunnel opaque (type <i>bâche verte</i>)
Séchage autre	Perte des propriétés naturelles	Organoleptique	Opter pour des basses températures
	Contamination aux HAP***	Sanitaire, environnemental	Utilisation d'un échangeur**** Utilisation de gaz "verts"*****

HAP : Hydrocarbure aromatique polycyclique.

III Collecte, culture et transformation des algues au Maroc :

III.1 Algues récoltées :



Figure 55: La côte de Moulay Abdellah

Les côtes marocaines, qui s'étendent sur 3500 km, présentent une richesse importante en espèces d'intérêts économique et écologique. Les études sur la biodiversité des algues marines benthiques ont mis en exergue une richesse spécifique de 505 espèces : 303 *Rhodophyceae* (Algues rouges), 99 *Phaeophyceae* (Algues brunes) et 87 *Chlorophyceae* (Algues vertes) et 12 espèces de cyanophycées ou algues bleue et 4 espèces de *Liliopsideae* (annexe 14). A noter qu'avec ses 381 espèces d'algues, la façade méditerranéenne est légèrement plus riche que la façade atlantique qui compte 323 espèces et la grande majorité des espèces connues de l'Atlantique est également représentée en Méditerranée (ONEM : Observatoire National de l'Environnement du Maroc 1998). Ces algues seraient d'une grande importance socioéconomique pour le Maroc si elles pourraient être mieux valorisées. [22]

Malgré cette diversité importante, presque une seule espèce d'algue rouge, *Gelidium sesquipedale*, est exploitée pour sa richesse exceptionnelle en un polysaccharide appelé agar-agar ou gélose fortement plébiscité pour ses propriétés gélifiantes étonnantes.

L'exploitation du *Gelidium* a débuté à El Jadida en 1949, surtout pour l'espèce *G. sesquipedale* que nous trouvons en abondance rejetée en épave par la mer ou sur les rochers du médiolittorale. Lors des périodes de récolte, ce sont quelques milliers de riverains démunis et quelques centaines de barques qui charrient une biomasse algale avoisinant les 14000 tonnes générant ainsi un chiffre d'affaires dépassant les 30 millions dirhams. [22]

Cette espèce a un rendement intéressant en agar avoisinant les 25 à 30% du poids sec. Elle est la seule de la flore marine marocaine, que la loi essaye de protéger de l'intense exploitation destructive. Deux arrêtés ont été publiés à son encontre (l'arrêté du 20 octobre 1950, BO N° 1983, et l'arrêté n° 1118-93 publié le 1er décembre 1993, BO N° 423). [22]

Les textes de ces articles ont comme objectif la réglementation de la récolte et stipulent :

- ▀ L'interdiction de la récolte des algues marines de la famille des floridées, dont *Gelidium*, du 1er octobre au 30 juin de chaque année ;
- ▀ L'interdiction de la récolte des algues pendant la nuit ;
- ▀ Le ramassage sur les côtes des algues en épaves (rejetées) est autorisé en tout temps ;
- ▀ Leur arrachage par contre est strictement prohibé ;
- ▀ des sanctions de toute infraction aux présents arrêtés. [22]

III.2 La technique de récolte des algues :

Le premier à avoir constaté ce gisement de «d'or rouge» est un juif du nom de Karrara. C'était en 1948. Mais, c'est un Français, Dali Grand, qui découvrit la valeur de cette «herbe» que rejetait la mer sur les rivages de la côte. De retour d'un séjour en Espagne en 1950, où il réalisa que les algues rouges valaient leur pesant d'or, il abandonna sa fabrique de conserve des sardines et des petits pois pour s'adonner à l'exploitation des algues. A cette époque, les ramasseurs, armés de paniers, attendaient les marées hautes pour glaner les touffes d'herbes que contenaient les vagues et sillonnaient, également, les rivages pour prendre celles rejetées par la mer. Quand c'est la marée basse, ils descendaient en pleine mer pour moissonner, à mains nues, les algues qu'ils mettaient dans des caisses en cordes ou dans des paniers en roseaux. C'est finalement en 1963 qu'une société italienne «Algenas- Maroc» introduisit un matériel moderne pour une collecte au large. Entre temps, le nombre des intermédiaires et des marchands clandestins augmentait sans cesse. [19]

Aujourd'hui, les plongeurs utilisent des barques et des chambres à air. Aux moyens de compresseurs d'air, l'arrachage des algues se fait à une profondeur de 2 à 12 mètres. Femmes et enfants ramassent sur la plage les algues jetées par la mer. Elles sont ensuite exposées pendant 5 à 6 heures au soleil pour séchage. Les intermédiaires interviennent dès le mois d'avril pour acheter les algues à moitié prix. Cette algue se trouve dans d'autres régions du Maroc mais en quantité moindre. Chaque saison, Safi par exemple produit aux alentours de 1.200 tonnes, Essaouira de 500 à 600, Skhirat de 400 à 500, Larache dans les 200 tonnes, Laâyoune et Boujdour 200 seulement et de qualité moindre. [20]

Ils sont donc des milliers, vrais pêcheurs ou plongeurs reconvertis, à ramasser ces filaments rouges si convoités. Si nombreux que l'objet de leurs désirs est grandement menacé. Cependant, la récolte n'est autorisée que pendant les trois mois de l'été.

Les images suivantes représentent la récolte des algues rouges à Sidi-Bouzid, à Al Jadida, leur séchage ainsi que les barques utilisées pour les transporter. [20]



Figure 56: La récolte d'algues rouges à Sidi-Bouzid



Figure 57: La cueillette de l'algue rouge marine à El Jadida



Figure 58: Le séchage des algues rouges à El Jadida



Figure 59: Les barques utilisées pour transporter les algues



Figure 60: Les plongeurs

III.3 Culture des algues :

L'homme exploite et cultive des végétaux marins pour se procurer des aliments ou des additifs alimentaires. Le produit de la culture répond aux besoins en aliments de l'homme. La culture nécessite une gestion rationnelle. Des améliorations quantitatives et/ou qualitatives de la production sont obtenues en agissant par exemple sur : les reproductions, les conditions d'élevage ou de culture, les apports nutritifs. [21]

L'algoculture présente les avantages suivants :

- elle est écologique ;
- elle nécessite une faible technicité, des investissements peu coûteux et une valorisation post récolte minimale ;
- Les algues peuvent être stockées dans l'eau de mer pendant une longue durée.

De ce fait, l'algoculture représente une débouchée économique dans les endroits reculés où d'autres sources de revenus sont rares notamment les communautés côtières isolées, comme le cas du Nord du Maroc, qui pourraient alors pratiquer au niveau familial une algoculture destinée à répondre à la demande croissante en certains types d'algues recherchées par les industriels. [18]

Le recours à l'algoculture suppose une bonne connaissance préalable des espèces (systématique, cycle de reproduction et mode de développement) de leur écologie et de leurs exigences (besoins nutritifs, température, oxygénation, pH et qualité de lumière). Aussi, la maîtrise de ces paramètres est nécessaire pour le repeuplement des champs d'algues à intérêt économique comme les agaro-

phytes. Le plus souvent, l'algoculture est précédée par une culture artificielle, très pratiquée chez les micro-algues, où les conditions physico-chimiques sont bien contrôlées et dont la comparaison de l'effet des différents paramètres appliqués est évaluée par la mesure de la biomasse (Rendement) qui est exprimée en g/m²/jour.

Dans le cas des Ulves (*Ulva lactuca* et *Ulva rigida*) cultivés, un soin particulier doit être apporté aux cultures (produits antifongiques pour limiter la prolifération des champignons, renouvellement de l'eau de mer pour remplacer l'eau évaporée, oxygénation...). Sous les conditions appliquées, les cultures ont pu être maintenues pendant plus de 6 mois et le développement des jeunes algues issues de germination a pu être obtenu. [18]

Les algues devraient présenter un certain nombre d'avantages :

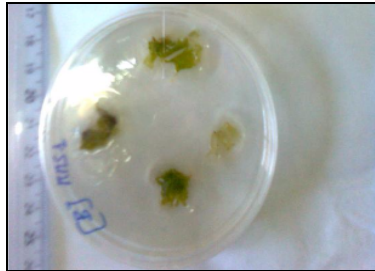
- Une bonne aptitude à la multiplication végétative qui pourrait être exploitée en conditions in vitro.
- Pour les Ulves, cette caractéristique est très difficile à réaliser : la nature des tissus est caractérisée par un nombre limité de couches cellulaires. En coupe transversale, le thalle comporte deux couches de cellules
- L'existence, chez la majorité des espèces, d'une alternance de générations, sporophytique et gamétophytique, dans leur cycle de développement ce qui permet l'accès à la phase haploïde. [18]

Sur le plan théorique, les différentes approches biotechnologiques appliquées chez les plantes supérieures pourraient être extrapolées chez les algues marines. A l'état actuel, l'importance est consacrée à la recherche de nouvelles molécules à fort intérêt économique et à l'amélioration des rendements pour la production de la biomasse ; thème très développée notamment chez les microalgues. Dans cet objectif, outre la micropropagation¹⁶ in vitro, la culture de protoplastes¹⁷ paraît avoir plus d'intérêt, à savoir l'exploitation de la variation somaclonale¹⁸ potentielle ou induite par des agents mutagènes, notamment en phase haploïde, ou suite à l'application des pressions de sélection, ou également l'obtention de nouvelles combinaisons génétiques par hybridation somatique ou encore par transgénése. [18]

Les images suivantes représentent des exemples de culture de certaines algues.



A) Algue Ulva fraîchement récoltée



B) Comportement des explants d'Ulva en fonction du milieu de culture et du temps



C) Explant de Gracilaria mis en culture in vitro

Figure 61 : Etapes préliminaires de culture in vitro des algues

Désinfection et choix du milieu convenable pour le maintien en vie des explants.

La réussite de ces technologies est conditionnée par la résolution de certaines difficultés techniques spécifiques aux algues marines, comme par exemple :

- Le maintien en conditions axéniques du matériel algal mis en culture. La désinfection des algues reste un problème majeur pour le développement des cultures et pour la recherche de protocoles de régénération. [18]

- La structure spécifique de la paroi cellulaire des algues, notamment les algues brunes et rouges, avec seulement 20% de cellulose, 40% à 60% d'acides alginiques ou 20 à 40% (en % du poids sec) de fucane, qui ne permettent pas l'utilisation des méthodes habituelles appliquées chez les plantes supérieures. Cette particularité a nécessité la recherche de nouveaux systèmes enzymatiques adaptables pour les algues, il s'agit d'enzymes isolées à partir des mollusques, à partir des bactéries marines ou par utilisation d'enzymes usuelles mélangées avec un extrait viscéral de mollusques. [18]

Nous réalisons également la culture de *Gelidium sesquipedale*, qui représente une source de revenus intéressante pour les populations côtières, en fixant des boutures d'algues sur des cordages immergés en lagune ou en mer ouverte...[21]

Par rapport aux plantes supérieures, les travaux portant sur la biotechnologie des algues (axénisation des explants, régénération, culture de protoplastes et fusion somatique, transformation génétique...) sont très peu nombreux. [18]

Cependant, nous nous attendons à ce que la recherche sur les algues, qui présentent une grande diversité, qui ne peut être trouvée ailleurs dans n'importe quel autre règne animal ou végétal, ouvre des nouvelles perspectives et permettrait d'aboutir à de nouveaux produits d'une grande valeur ajoutée...[18]

III.4 La transformation des algues rouges :

Chaque année, le Maroc dépense des milliards de dollars pour importer du pétrole ou du gaz de l'étranger. Cependant, il a mis en place à Rabat, en 2007, un centre de recherche scientifique, MAScIR (Moroccan Foundation for Advanced Science, Innovation and Research) au sein duquel de jeunes étudiants doctorants travaillent sur la mise en place d'un processus permettant l'obtention de biocarburants de troisième génération à partir de micro-algues marines d'origine marocaine. [20]

Au Maroc, existaient trois usines de transformation pour extraire de l'agar-agar. Maroc- Agar à Casablanca a fermé en 2004. L'usine Almar n'est plus opérationnelle depuis 1999. Seul Setexam à Kenitra est toujours opérationnelle. [20]

L'algue exploitée est *Gelidium sesquipedale* ou « rbiâa » nommée l'algue miraculeuse d'El Jadida. C'est une algue rouge de consistance cartilagineuse avec des frondes de grande taille, rameaux minces aplatis, aigus, nus à la base. Elle prolifère sur les rochers de la zone littorale inférieure et infralittorale très fréquente entre Larache et Laâyoune particulièrement dense sur les côtes de Doukkala. Cette algue est très recherchée mondialement pour l'extraction de l'agar-agar. Il s'agit d'une molécule gélifiante dite phycocolloïde qui, sous forme de poudre blanche après extraction, se solubilise dans l'eau bouillante et

donne après refroidissement un gel consistant. L'agar-agar est très utilisé comme additif gélifiant et texturant dans les industries alimentaires et cosmétiques sous le code E406. Il est également utilisé en pharmacie, biologie, dans la préparation des milieux de culture en microbiologie et dans la composition de pâtes à empreintes dentaires, etc. [22]

Traditionnellement utilisé dans l'alimentation japonaise, cet extrait d'algue possède de nombreux atouts si vous souhaitez perdre du poids. Quant à son apport calorique, il est proche de zéro. A partir de l'algue rouge, nous pouvons aussi extraire de l'huile nutritive, souvent achetée par de grands restaurants et utilisée dans la cuisine gastronomique.

La figure 62 représente l'unité de base agarobiose.

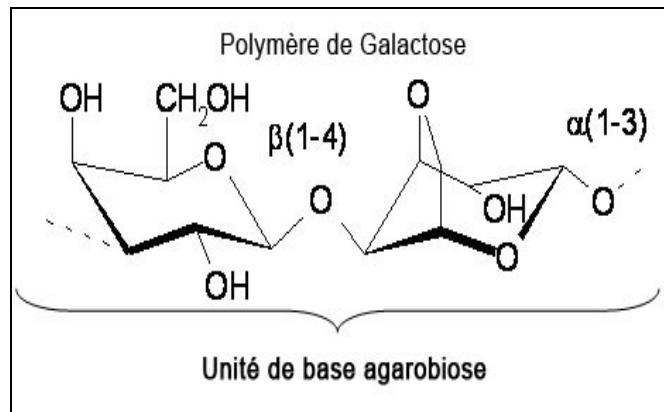


Figure 62: Unité de base agarobiose

Les Agars : la structure chimique et la qualité dépendent essentiellement de l'unité de répétition régulière et des unités substituées. [22]

✚ **L'extraction des gélifiants (Agar-agar et carraghénanes) :**

Le tableau V représente les différentes techniques d'extraction des gélifiants à partir d'algues rouges (le *Chondrus*, *Gélidium* et *Gracilaria*).

IV. Conclusion :

La récolte des algues mobilise un nombre non négligeable d'habitants, elle intéresse toutes les catégories sociales et principalement les femmes. L'exploitation est au stade de cueillette manuelle avec un séchage naturel au soleil. Elle peut aussi être réalisée en mer à l'aide de navires goémoniers utilisant des engins mécanisés (scoubidou et peigne). Une équipe de deux personnes peut recueillir jusqu'à une tonne d'algue fraîche par marée.

Une amélioration du réseau de collecte est nécessaire pour que les villageois profitent au mieux de cette exploitation. Cependant, l'application des mesures d'aménagement est impérative pour éviter l'épuisement de la biomasse accessible.

Il a fallu donc recourir à la culture des algues. L'algoculture est la branche la plus forte de l'aquaculture. Il apparaît de plus en plus qu'elle pourrait être une des sources de cette énergie propre dont l'humanité aura immanquablement besoin. [23]

La transformation des algues vient ensuite, elle s'effectue avec différents précédés et techniques pour aboutir à divers produits (des gélifiants...) utilisés dans différents domaines.

Tableau V: Les méthodes utilisées pour extraire les Carraghénanes et l'Agar-agar.

Gélifiants extraits	Méthodes utilisées	
<p>Les carraghénanes (E407) : Depuis plusieurs siècles le <i>Chondrus</i> est une algue utilisée en médecine et dans l'alimentation. Il y a plus de 600 ans les irlandais du comté de Carragheen dans le sud de l'Irlande savaient utiliser cette " Irish moss " pour des pommades et des flans. Cette algue séchée à, en effet, un extraordinaire pouvoir gélifiant en présence de lait. Pour extraire les carraghénanes nous utilisons deux méthodes : une extraction à l'eau et une extraction à en milieu fortement alcalin.</p>	<p style="text-align: center;">Extraction à l'eau</p> <p>Nous introduisons 5 g de matière sèche d'algues et 250 ml d'eau distillée dans un récipient que nous faisons chauffer à 80-90° C. Puis nous broyons le tout et nous remettons le broyat au bain-marie pendant 3 heures sous agitation. Avant la fin, nous rajoutons quelques cuillerées de diatomite. Ensuite nous centrifugeons le tout. Nous récupérons le filtrat et nous remettons au bain-marie, nous obtenons ainsi notre solution de carraghénanes.</p>	<p style="text-align: center;">Extraction en milieu fortement alcalin</p> <p>Cette extraction est la même que la précédente sauf que nous préparons une solution de soude au lieu de 250 ml d'eau. Maintenant il faut précipiter les carraghénanes.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Précipitation : <p>Nous préparons un volume double d'alcool du volume de la solution de carraghénanes obtenues. La solution est versée dans l'alcool et nous obtenons ainsi un précipité de carraghénanes. Ce précipité est récupéré, nous le séchons. Les deux produits obtenus sont alors pesés et broyés au mortier.</p>
<p>L'Agar-agar (E406) : Agar-agar est un mot d'origine malaise qui désigne la gelée obtenue à partir de diverses algues rouges telles les genres <i>Gélidium</i> et <i>Gracilaria</i>.</p>	<p style="text-align: center;">Extraction à l'eau à partir des Gélidiales ("Agarophytes")</p> <ol style="list-style-type: none"> 1- Broyage ; 2- Traitement thermique: faire bouillir pendant 30 minutes ; 3- Filtration sur soie et papier ; 4- Filtrat à mettre au frais et à déshydrater. 	<p style="text-align: center;">Extraction fine des Carraghénanes</p> <ol style="list-style-type: none"> 1- Broyage en présence de CaCl₂ à 2 % ; 2- Traitement thermique avec de la soude (NaOH à 0.1N) à 90-95 °C ; 3- Filtration sur soie ou diatomite ; 4- Précipitation avec de l'Isopropanol ; 5- Séchage et broyage du précipité.



*Partie III :
Les différents
domaines d'utilisation
des algues et leurs bienfaits
sur la Santé*

I. Introduction :

Nous estimons que sur notre planète, l'activité photosynthétique est à plus de 90% le fait des algues marines, constituant ainsi notre principale source d'oxygène. De nombreuses populations des régions côtières utilisent quotidiennement les algues marines pour leur alimentation. La propriété physiologique des algues qui consiste à concentrer dans leurs cellules des oligo-éléments contenus dans l'eau est désormais utilisée à des fins diététiques ou en thalassothérapie. Mais l'exploitation industrielle des algues est essentiellement liée à l'extraction de leurs phycocolloïdes, polysaccharides constituant la paroi des cellules, aux propriétés texturantes. Nous distinguons ainsi les agars et les carraghénanes, extraits des algues rouges, des alginates, extraits des algues brunes. Les principales applications de ces phycocolloïdes sont dans des domaines très variés : [24]

- L'alimentation humaine en tant que légumes ;
- L'agroalimentaire en tant que texturants ;
- L'agrofourmiture en tant que produits phytosanitaires, engrais ou aliments pour bétails.
- La chimie et la microbiologie pour les milieux de culture ;
- La cosmétique et la pharmaceutique ;
- Le traitement des eaux pour les filtres et solutions ;

La figure 63 représente les pourcentages et les domaines d'utilisations des algues dans le monde et en France.

De plus, les algues sont connues pour leur richesse en iode, mais aussi en calcium, sodium, potassium, magnésium, phosphore, zinc et en fer. Autre atout, non négligeable pour les adeptes de la cuisine minceur : leur faible apport calorique. En revanche, elles sont une source de fibres, qui donnent une sensation de satiété et accélèrent le transit intestinal. Elles lutteraient également contre la fatigue, la perte de mémoire, la dépression, etc.

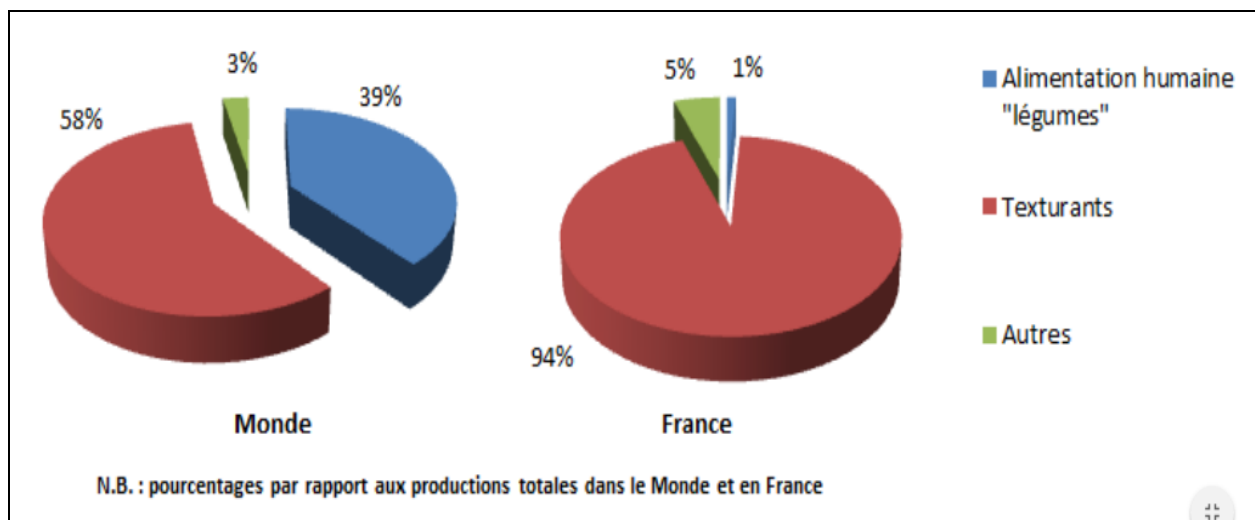


Figure 63: Répartition des productions des macro-algues par usage

II. Domaines d'utilisation des algues :

II.1 Domaine agro-alimentaire :

➤ Dans l'alimentation :

L'utilisation des algues, en Chine et au Japon, pour l'alimentation humaine remonterait à plusieurs millénaires. Les Esquimaux sont particulièrement friands d'algues crues qui sont un appoint important dans leur régime restrictif en raison du climat. [25]

Nous trouvons des algues de toutes les couleurs qui, parfois, donnent à l'eau une couleur toute particulière, surtout lorsque celles-ci flottent à la surface : bleue, brune, rouge, violet... Pour s'épanouir, elles captent les rayons solaires et filtrent l'eau de mer afin d'y puiser les éléments vitaux. Toutes les algues possèdent de la chlorophylle. [25]

Nous trouvons des algues de toutes les formes et de toutes les grandeurs. Des algues microscopiques aux algues qui peuvent atteindre des dizaines de mètres de longs. Elles peuvent être très fines ou très épaisses, vivant au bord de l'eau, à la surface ou plus profondément dans l'océan jusqu'à 200 mètres. Les algues sont souvent la maison et la maternité de nombreux poissons. [25]

Les algues alimentaires sont à présent souvent cultivées. Les japonais ont commencé leur culture depuis des centaines d'années et les bretons sont déjà bien spécialisés dans l'aquaculture. [25]

Il existe des algues d'eau douce et des algues d'eau de mer.

-Les algues d'eau douce :

Nous trouvons de nombreuses algues dans différents lacs de montagnes mais surtout dans les lacs assez chauds. Elles ne contiennent pas d'iode. Leur taux de protéines est supérieur à celui des poissons, de la viande, des œufs, du soja. La plus considérée actuellement est la spiruline. La spiruline est également cultivée. Malheureusement son prix est exorbitant alors qu'elle est présente en abondance sur cette terre et qu'elle pourrait facilement être un apport en protéines important pour tous ceux qui n'ont pas une alimentation équilibrée. [25]

-Les algues de mer :

Propriétés :

• ***Protéines***

Les algues de mer sont en général très riches en protéines, mais elles ne contiennent probablement pas tous les acides aminés essentiels qui ne sont présents que dans l'œuf. Il est donc conseillé de varier régulièrement les sortes d'algues que nous consommons. [25]

• ***Glucides***

Les algues sont riches en sucres non assimilables par l'organisme. Les diabétiques peuvent donc se régaler avec les algues. Elles contiennent des féculents.

Elles sont très mucilagineuses et facilitent le transit intestinal, propriété à ne pas négliger surtout pour les sédentaires. [25]

• ***Lipides***

Ils sont peu importants dans la composition des algues.

• ***Sels minéraux et oligo-éléments***

Richesse principale des algues, les sels minéraux et les oligo-éléments représentent l'intérêt alimentaire supérieur de toutes les algues. Les algues sont un concentré d'eau de mer. L'analyse de l'eau de mer révèle la présence des mêmes minéraux et oligo-éléments que ceux que nous trouvons dans le sang. Leur composition varie cependant d'une espèce à l'autre, c'est pourquoi il est important de varier la consommation régulière des algues. [25]

Le calcium présente un intérêt particulier dans l'utilisation des algues dans l'alimentation. Le calcium contenu dans les algues est bien assimilable par l'organisme. Nombreuses sont les femmes qui souffrent d'ostéoporose et qui consomment beaucoup de lait et de produits laitiers. Nous remarquons que la plupart des peuples qui consomment peu de produits laitiers mais plus de produits de la mer souffrent rarement d'ostéoporose, de fractures spontanées, de problèmes de tassement de disques vertébraux. [25]

Le magnésium et le phosphore présents dans les algues permettent un apport suffisant journalier pour palier à toute carence.

Le sodium et le potassium, minéraux indispensables de notre sang, sont présents de façon non excessive dans les différentes algues.

L'iode est présent dans toutes les algues de mer. Il constitue une protection particulière contre les rayons ionisants. Sa présence dans l'organisme est indispensable en dose infinitésimale. C'est pourquoi il est utile à nouveau d'utiliser les algues en petites quantités et d'en varier souvent.

Nous trouvons également des traces de cuivre, de cobalt, d'or, de zinc, de brome, etc. [25]

• *Les vitamines*

Les algues sont une source importante de vitamines hydrosolubles. La vitamine C est très importante mais pour la conserver, nous devons consommer tous les jours notre ration d'algues fraîches (1 cuillère à café pour un adulte). La plupart des vitamines du groupe B sont bien présentes dans de nombreuses algues. [25]

• *Les enzymes*

Les algues fraîches sont très riches en enzymes. Elles constituent un apport important d'éléments vitaux dans notre alimentation. Comme pour les vitamines, il est nécessaire de ne pas les chauffer à plus de 45°. [25]

• *Calories*

Les algues sont pauvres en calories, ce qui en fait un aliment préférentiel pour ceux ou celles qui veulent maigrir en comptant les calories. [25]

La plupart des algues alimentaires sont actuellement commercialisées. Malheureusement, c'est surtout desséchées que nous pouvons les trouver. Leur saveur s'en trouve un peu dénaturée, mais également leur richesse en vitamines et en enzymes. De préférence, il ne faut utiliser que les algues fraîches conservées dans le sel marin. [25]

Elles se gardent parfaitement au frais pendant 6 mois environ.

Nous trouverons également les algues en gélules et en paillettes. Ces algues servent plutôt de compléments alimentaires. [25]

Des algues apéritives sont à présent commercialisées.

Elles sont aussi souvent utilisées dans l'alimentation d'une façon non perceptible. Elles servent d'épaississant dans de nombreuses préparations : desserts, soupes, sirops, jus de fruits, charcuterie, etc. Nous les retrouvons également dans de nombreux "Exxx" qui se lisent sur les étiquettes des différents aliments. Les algues utilisées comme épaississant doivent cependant être utilisées avec parcimonie car certaines sont irritantes pour le système digestif, par exemple les carraghénates. [25]

Cette propriété de gélifiant chez de nombreuses algues est utilisée comme agent de texture dans l'industrie alimentaire (aussi en cosmétique...). Les algues représentent une alternative à l'utilisation des gélatines d'origines animales. [25]

Nous retrouvons ces gélifiants algaux sous les appellations E400 à E407 dans notre alimentation quotidienne. Il y'en a trois grands types :

-Les alginates (E400 à E405), extraits des algues brunes laminaires et fucales, comme la *laminaria digitata*, l'algue la plus exploitée en France. La grande teneur en iode de cette algue présente également un intérêt pour la préparation de compléments alimentaires. [25]

-Les agars (E406) sont extraits d'algues rouges telles la *gelidium* ou la *gracilaria verrucosa* (annexe 14). Cette dernière est exploitée à une hauteur de 370000 tonnes fraîches par an, dont 130000 tonnes par la culture. [25]

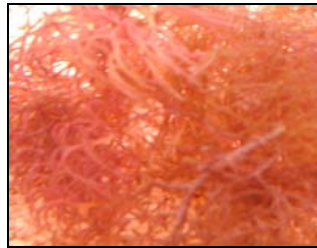


Figure 64: Algue Gracilaria

-Les carraghénanes E407 sont extraits du *chondrus crispus*. La récolte manuelle s'effectue de mai à octobre et porte sur environ 5500 tonnes par an en frais.

Les algues sont consommées à travers le monde, de manières très diverses :

• ***Cuites***

Natures, incorporées dans des céréales, des légumes, des galettes, du pain, en confiture, biscuit, apéritive, en infusion, en assaisonnement divers et même parfois frites, etc... [25]

• ***Crues***

C'est la façon la plus agréable de les utiliser à notre avis. Incorporées dans les crudités ou dans les plats cuits avant de les servir. Elles sont à répartir avec parcimonie comme nous utilisons les fines herbes.

Lorsque nous commençons à introduire les algues dans notre alimentation, nous devons le faire en douceur, sans forcer et en très petite quantité. Il faut bien rincer les algues pour en dégager le sel, à moins que nous l'utilisions également pour saler notre préparation. Nous pouvons les hacher grossièrement ou très finement selon notre affinité avec elles. Il ne faut pas oublier qu'il en faut très peu pour déjà en profiter pleinement. [25]

• ***Marinées***

Nous pouvons préparer nos algues comme nos cornichons. Elles seront encore meilleures en les faisant tremper dans un peu dans l'huile d'olive avant l'utilisation. [25]

Quelques algues utilisées couramment dans notre alimentation :

-Iziki



Figure 65:
Algue Iziki

Algue à l'aspect de brins d'herbes noires et dures. C'est une des algues ayant une grande teneur en oligo-éléments : 34 %. Elle est très populaire au Japon où elle est consommée quotidiennement. [25]



Figure 66: Algue
Kombu

- Kombu bretonne et royale

C'est une grande algue, dure. Sa texture est épaisse et charnue et son goût iodé. C'est une algue qui se prête bien à la cuisson avec les céréales ou les légumineuses germées. [25]



Figure 67: Algue
Wakamé

-Wakamé

Très appréciée au Japon pour sa saveur spéciale et sa texture tendre et douce. Cette algue est aujourd'hui la seule issue d'aquaculture en France.

Caractéristiques remarquables : la richesse en protéines (environ 20% contre 7 à 10 % pour les algues brunes locales) et le bon équilibre des acides aminés. La nervure centrale large et épaisse demande, après quelques minutes de trempage, d'être cuite ou ébouillantée rapidement afin de compléter un plat de légumes, de poissons, alors que les feuilles longues et tendres peuvent être employées crues dans les salades et les crudités. [25]



Figure 68:
Feuilles d'algue
Nori

-Nori

Une algue qui contient tous les acides aminés essentiels dans de justes proportions, elle abonde aussi en vitamines. C'est une des algues les plus délicates et les plus parfumées. Extrêmement fine, de couleur noire aux reflets pourpres, elle peut se manger crue à condition qu'elle soit hachée finement. Elle est délicieuse rajoutée en fin de cuisson dans les pâtes, les légumes ou cuite dans les ragoûts et avec du poisson. [25]



Figure 69: Algue
Dulse

-Dulse

Elle est très riche en oligo-éléments et en protéines. Sa teneur en calcium est 20 fois plus élevée que dans le lait. De couleur rouge rosé, de saveur douce, sa texture est très tendre. Cette algue est couramment utilisée depuis le 10^{ème} siècle dans les îles du nord de l'Europe. Elle se marie bien avec tout. [25]



Figure 70: Laitue
de mer

-Laitue de mer

D'un beau vert lumineux, de texture élastique, elle se consomme soit crue hachée finement avec des crudités, soit cuite une dizaine de minutes en accompagnement. Sa teneur en fer atteint 12 fois celle des lentilles. C'est l'algue la plus consommée en Europe. Récoltée de manière traditionnelle sur les côtes sauvages de Bretagne, elles sont travaillées sous différentes formes : paillettes, farines, algues entières... [25]



Figure 71:
Haricot de mer

- *Haricot de mer*

Très tendre, il remplace avantageusement nos haricots terrestres et est très apprécié de tous pour son goût subtil et iodé. Il ressemble à une tagliatelle de couleur vert olive. Il peut atteindre 3 à 10 mètres de long. Il se mange cru en salade ou cuit et nous permet la création de recettes illimitées. [25]



Figure 72: Algue
Spiruline




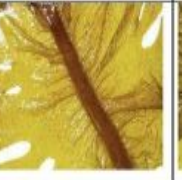
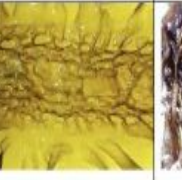

-*Spiruline (algue d'eau douce)*

La spiruline est une algue originaire des eaux douces de hautes altitudes. Elle est en général lyophilisée (desséchée par sublimation à très basse température). De ce fait, un petit volume et un poids réduit représentent une importante quantité de la plante avec une conservation d'excellente qualité. Cette algue est un aliment complémentaire très précieux par son exceptionnelle richesse en acides aminés essentiels, vitamines, sels minéraux et acides gras essentiels. C'est un aliment de haute valeur nutritionnelle.

La spiruline se prend dans une boisson ou incorporée à des crudités ou des plats divers à condition de ne pas dépasser une température de 45°. [25]

→ Le tableau VI représente les algues utilisées en cuisine.

Tableau VI: Le guide d'utilisation des algues en cuisine.

ALGUES	Laitue de mer	Dulse	Porphyre - Nori -	Wakamé	Kombu Royal	Spaghettis de mer
Nom latin	<i>Ulva sp.</i>	<i>Palmaria palmata</i>	<i>Porphyra sp.</i>	<i>Undaria pinnatifida</i>	<i>Saccharina latissima</i>	<i>Himantalia elongata</i>
Saveur	Fraîche, corsée et rappelle le goût de l'oseille.	Douce et iodée. Saveurs de crustacés.	Thé fumé, champignon séché, huître	Mélange discret de saveurs marines. Goût d'huître.	Sucrée et iodée.	Iodée.
Texture	Souple.	Croquante au sortir de la mer, et fondante après une rapide cuisson.	Souple et fine. (Épaisse d'une seule couche de cellule)	Lame souple et stipe (nervure centrale) rigide.	Chamue et croquante. Tendre sur les extrémités.	Tendre
						
Utilisations	Crue et émincée elle accompagnera les salades et les crudités . Hachée elle agrémentera les saucés , les potages ou les vinaigrettes . S'utilise aussi comme papillote .	Se consomme crue avec les crudités et les salades . Agrémente les saucés , les potages et les vinaigrettes . Agrémente une tourte aux fruits de mer.	Se met en caviar sur une pomme de terre au four. Accompagne délicieusement les omelettes , les béchamels et les saucés .	Renforce les saveurs d'un potage avec onctuosité. S'emploie également dans les tourtes et les salades .	Cette papillote royale permet de réaliser tout type d'aumonières. S'emploie pour la cuisson des légumineuses ...	Accompagne les légumes , les poissons , les tourtes ...
Particularités	Riche en minéraux : calcium (20% de l'AQR*), fer (10%), magnésium (100%), vitamines A et C.	Riche en Protéines et en minéraux : magnésium (10%), phosphore, iode (100%) et fer. Bien équilibrée en vitamines A, B, C.	Qualité de protéines voisine de celles de l'oeuf. Très intéressante pour le phosphore, la provitamine A (30%), le fer et la vit. B12 (100%).	Très intéressante pour le calcium et les vitamines du groupe B, dont la vitamine B12. Bonne teneur en vitamine C, en sodium en fer et en potassium.	Très riche en minéraux : calcium, potassium et sodium. C'est l'algue la plus riche en iode.	Riche en minéraux et en vitamines, particulièrement pour la vitamine C.

* : A.Q.R. Apport Quotidien Recommandé (%) pour 5 g d'algues déshydratée ou 20 g d'algues fraîches.

➤ Les algues marines dans l'alimentation des animaux et dans l'agriculture :

Les micro-algues sont la base du réseau trophique en milieu marin. De ce fait il apparaît qu'elles peuvent être intégrées à l'alimentation en aquaculture marine. Elles sont notamment utilisées dans les élevages de bivalves et pour les larves de poissons et de crustacés.

Ce sont notamment leurs nombreux acides gras insaturés qui aident à la croissance des jeunes larves. Ces micro-algues (mortes) sont fournies sous forme de pâtes de micro-algues ou de micro-algues sèches. Il semble cependant qu'elles soient utilisées essentiellement en tant que complément de l'alimentation donnée habituellement ou en tant que supplément quand il n'y a pas suffisamment d'algues vivantes. [26]

En effet, ces algues sèches ont des valeurs nutritionnelles plus faibles que les vivantes et sont peu disponibles dans le commerce. Les micro-algues vivantes apportent plus de bénéfices dans l'alimentation des élevages marins que lorsqu'elles sont séchées. De plus, il existe une flore bactérienne naturelle avec la culture des micro-algues qui a été prouvée bénéfique pour la santé des mollusques. Enfin, l'utilisation de levures et de bactéries dans l'alimentation de ces élevages donnent des résultats beaucoup moins bons en apports nutritionnels qu'avec des micro-algues. Les micro-algues vivantes apparaissent comme le meilleur choix dans les conditions d'élevages, pour apporter des valeurs nutritives élevées, présenter des propriétés physiques appropriées et fournir un environnement sain à l'élevage. Nous pouvons par exemple citer *Isochrysis galbana* et *Tetraselmis suecica* (annexe 13) qui sont considérées comme la

meilleure nourriture pour les larves de bivalves. Les caroténoïdes présentés précédemment ont aussi des applications dans l'élevage puisqu'ils améliorent l'état de santé général des animaux. En aquaculture, ils favorisent la qualité et la survie des larves de crevettes et sont utilisés dans l'élevage et la coloration des saumons. Ainsi que la *gracilaria* qui est utilisée comme fourrage dans l'aquaculture de poissons et de mollusques ainsi que comme amendement en agriculture.

Nous retrouvons également la farine d'algue, qui est utilisée comme additif pour l'alimentation animale, nous l'avons d'abord fabriquée en Norvège dans les années 60. Nous l'obtenons à partir d'algues marines brunes qui sont collectées, séchées et moulues. Le séchage se fait généralement dans des fours à mazout. Nous récoltons environ 50 000 tonnes d'algues marines humides, permettant d'obtenir annuellement 10 000 tonnes de farine d'algues. [26]



Figure 73: *Isochrysis galbana* / *Tetraselmis suecica*

L'usage des algues comme engrais remonte au moins au 19^{ème} siècle. Les habitants des côtes ont été les premiers utilisateurs, récupérant les débris laissés par les tempêtes, généralement de grandes algues brunes, et les enfouissant dans la terre. Les algues, avec leur forte teneur en fibres, jouent un rôle de conditionneur du sol (comme le *Lithothamnium calcareum* ou *maërl* qui, depuis la fin du 18^{ème} siècle, étaient utilisés pour réduire l'acidité des sols) et aident à garder l'humidité, alors que les minéraux des algues constituent des engrais et une source d'oligoéléments utiles. Ces engrais ont des possibilités d'expansion grâce aux extraits d'algues liquides, qui peuvent être produits sous forme concentrée, l'utilisateur assurant la dilution. Plusieurs de ces extraits sont applicables directement sur les plants ou bien nous arrosons la zone des racines. Un certain nombre d'études scientifiques démontrent que ces produits peuvent être efficaces et les extraits d'algues sont maintenant très bien acceptés dans l'horticulture. Pour la culture des arbres fruitiers, des légumes et des fleurs, ils ont permis de réaliser des progrès, en particulier des rendements plus élevés, une meilleure assimilation des nutriments, une plus grande résistance à certains organismes nuisibles tels que l'araignée rouge et les aphides, une meilleure germination, et une résistance accrue au gel. [23]

Les micro-algues apparaissent également comme de bons fertilisants des sols pauvres puisqu'elles apportent notamment du potassium, de l'azote, éléments essentiels à la croissance végétale. Elles permettent aussi de capturer et de garder l'humidité. Enfin, elles accélèrent la pousse des cultures et les protègent en limitant la prolifération des épiphytes (organismes végétaux qui croient et vivent sur d'autres végétaux sans se nourrir à leurs dépens) et des parasites. [26]

II.2 Cosmétique et thalassothérapie¹⁹ :

C'est dans les années 1980 que les algues sont apparues dans le monde de la beauté, rouges, vertes, brunes, semblables à des lianes ou à de minuscules fleurs, elles représentent une ressource naturelle que l'on retrouve désormais dans nos produits de soin et masques hydratants. [27]

Grâce à leur photosynthèse, les algues produisent deux tiers de l'oxygène de la planète. Ce sont des végétaux marins surdoués, qui présentent des analogies uniques de composition avec le plasma sanguin. L'organisme humain va donc les assimiler plus rapidement, selon les dires d'Angélique Labbe, responsable cosmétique-soin du groupe Bateau. [27]

Cependant, les algues sont insolubles dans l'eau et leurs actifs sont retenus dans leurs cellules qui par leur taille trop importante, ne peuvent traverser notre peau. [27]

D'où, avant utilisation, il est nécessaire de réduire les algues en particules très fines. Ceci permet d'éclater leurs cellules, libérant les actifs qui peuvent alors être diffusés par voie transcutanée. Cette opération, appelée micronisation, transforme les algues en poudre très fine qui pourra être incorporée dans des produits cosmétiques. [28]

Les algues sont utilisées dans les cosmétiques pour leurs propriétés :

- hydratantes,
- nourrissantes,
- régénérantes,
- amincissantes,

- drainantes,
- détoxifiantes,
- apaisantes,
- reminéralisantes,
- antiseptiques.

L'algothérapie est l'utilisation d'algues marines sous forme de bains d'algues ou d'enveloppements²⁰ et fait appel aux propriétés vivifiantes, hydratantes, anti-stress et restructurantes de ces algues. Les extraits d'algues présentent également des propriétés anti-UV et anti-oxydantes. L'étiquette de produits tels que des crèmes solaires et anti-âge, des lotions, des savons, des shampoings... indique parfois qu'ils contiennent en particulier des «extraits d'éléments marins», des «extraits d'algues», des «extraits d'algues marines» ou d'autres mentions semblables. Cela signifie généralement que nous avons ajouté l'un des hydro-colloïdes extraits des algues marines. L'alginate ou le carraghénane peuvent améliorer les qualités hydratantes du produit. En thalassothérapie, des pâtes d'algues, obtenues par broyage ou écrasement à froid, sont appliquées sur le corps du sujet, puis réchauffées par rayonnement infrarouge. Ce traitement, allant de pair avec une hydrothérapie utilisant l'eau de mer, est réputé apporter un soulagement en matière de rhumatismes et d'ostéoporose. [29]

Nous retrouvons également les algues comme agent de texture dans les rouges à lèvres ainsi que les mascaras. [29]

Trois types d'algues sont utilisés en cosmétologie :

- le *Fucus*,
- l'*Ascophyllum*,
- et quelques espèces de *Laminaire*.

Classiquement, les variétés d'algues utilisées en cosmétologie sont : *Ascophyllum nodosum*, *Laminaria digitata*, *Fucus vesiculosus*, *Chondrus crispus*, *Lithothamnium calcareum*. Sous forme de poudres ou de bouillies, elles sont censées avoir des propriétés exceptionnelles.

Algues Rouges : *Palmaria Palmata* (*Dulse*) aux propriétés hydratantes et reminéralisantes et *Lithothamnium Calcareum* (*Lithothamne*), petite algue rouge très riche en calcium et magnésium utilisée pour ses propriétés reminéralisantes et son action exfoliante. [28]

Algues brunes : *Laminaria Digitata*, algue brune laminaire, reminéralisante, hydratante, protectrice, régénérante et émolliente et *Fucus*, algue brune très hydratante et apaisante.

Algues vertes : *Ulva lactuca* (*laitue de mer*), algue verte riche en magnésium utilisée surtout pour ses propriétés hydratantes. [28]

La criste marine est une plante vivace commune sur le littoral français. Très riche en vitamine C et en Iode, elle est utilisée en cosmétique pour ses propriétés anti-radicalaires et pour améliorer l'hydratation cutanée, la purification et le nettoyage de la peau. [28]



Figure 74: La criste marine

➤ Les propriétés de texture des algues :

Les substances visqueuses extraites des algues se présentent sous la forme de poudre qui se disperse dans l'eau. Celle-ci est largement utilisée lors de la fabrication de gels aqueux, comme ceux utilisés pour la crème solaire par exemple, ou encore le dentifrice ou les déodorants en stick. [28]

Ces mêmes poudres peuvent être utilisées comme agent stabilisateur pour certaines émulsions qui sont à la base, entre autres, de laits démaquillants, de crèmes hydratante...[28]

Les composants essentiels des algues marines :

- ✓ Les sels acides aminés

Ils reconstituent les tissus et assurent un apport nutritif et énergétique.

Utilisation cosmétologique : En masque, ont une remarquable action due aux mucilages marins ; Utilisation à froid ou à chaud en masques ou enveloppements revitalisants. [28]

✓ Les sels vitamines

Les vitamines permettent de combler les carences.

Utilisation cosmétologique : régénération cellulaire. [28]

✓ Les sels minéraux

Ils ont une action sur la vitalité des cellules.

Utilisation cosmétologique : Reminéralisent et réhydratent les peaux sèches et sensibles ; Régularisent l'excès de sébum des peaux grasses. Action incomparable sur l'acné. [28]

✓ Les sels oligo-éléments

Les oligo-éléments favorisent la vitesse des réactions biologiques

Utilisation cosmétologique : La peau devient plus lisse, plus souple et acquiert un éclat nouveau. Leur action est remarquable sur les rides et le vieillissement prématuré. [28]

❖ Quelques produits et préparations à base d'algues utilisés en cosmétique :



Figure 75: Un masque à base d'algue

Un masque visage régénérant aux algues marines, associant des laminaires, de la spiruline et du kaolin (argile blanche). Purifie et régénère l'épiderme. [30]



Figure 76: Une crème anti-âge à base d'algue

Une crème anti-âge à base d'algue *Undaria Pinnatifida* (qui est utilisée pour son effet antirides) et d'algue *Dictyopterus Membranacea* (annexe 14) (qui estompe légèrement les tâches présentes sur la peau). Il s'agit de la Crème Rides Jeunesse des laboratoires Algothém. Sa texture rosée est particulièrement onctueuse, fluide, veloutée et peu grasse. Son odeur fraîche, légèrement poudrée et discrète est plutôt dynamisante. [31]



Figure 77: Un exfoliant à base d'algue

C'est un exfoliant doux, avec des micros billes dedans, à base d'algues. La peau est propre et douce.



Figure 78: Un savon à base d'algue

Ce savon unique à base d'algues rouges (*Gracilaria Algae*), de minéraux essentiels de la mer morte et d'huile d'olive constitue un soin majeur pour votre peau. L'algue rouge *Gracilaria* est enrichie en vitamines essentielles vous permettant de retrouver une peau saine douce et un teint parfaitement éclatant. Le savon d'algue de mer **MERSEA** contient des minéraux de la Mer Morte, des huiles naturelles et de l'extrait d'aloë vera qui hydratent la peau. Améliore l'aspect de la cellulite par l'hydratation de la peau. [32]



Figure 79: Un shampoing à base d'algue

Spécialement formulé avec une base lavante ultra douce et aux extraits végétaux, enrichi en protéines et *Laminaria digitata* (algues marines), le shampoing restructure les cheveux secs, il respecte l'équilibre naturel du cuir chevelu et du cheveu. Restructurant et nutritif, il renforce la gaine naturelle du cheveu. [33]

Certes, les algues marines ou les algues d'eau douce sont de véritables trésors de bienfaits pour notre organisme, tant sur le plan nutritionnel que cosmétique: de grandes marques de cosmétiques ont bâti leur réputation sur les bienfaits des algues, comme Thalgo, ou encore les centres de thalassothérapie qui incluent les principes actifs des algues dans leurs soins minceur ou soins visage.

Mais la plupart du temps, ces grandes marques proposent leurs cosmétiques à base d'algues à un prix élevé. Il est pourtant possible de fabriquer soi-même à la maison des cosmétiques pas chers à base d'algues.

▪ **Pour fabriquer à la maison un masque aux algues pour le visage :**

Les algues marines et les micro-algues sont très riches en antioxydants et en principes actifs contre les radicaux libres : vitamine A, vitamine C, vitamine E, caroténoïdes (lutéine, bêta-carotène par exemple), polyphénols, phycobiliprotéines²¹ ou SOD (superoxyde dismutase²²) sont des composants anti-âge naturellement présents dans de nombreuses algues, principalement les algues rouges ou la spiruline.

La *Spiruline* est une algue bleue microscopique naturellement très riche en acides aminés, en protéines et en vitamines. Ces nombreux nutriments lui confèrent la possibilité de protéger le collagène et l'élastine de la peau, et de limiter ainsi l'apparition des rides. Sa teneur en Vitamines A et E lui permet également d'intervenir au niveau de la prévention du vieillissement cutané. C'est un produit très apprécié dans les spas et les instituts pour réaliser des masques et des enveloppements marins.

➔ Voici un masque à base de spiruline :

- 1 cuillère à café de *Spiruline* (en poudre)
- 2 cuillères à soupe d'argile (idéalement, violette si la peau est délicate)
- 2 cuillères à soupe d'hydrolat de notre choix ou d'eau (l'hydrolat de roses par exemple)

Nous mélangeons le tout avec une cuillère ou une baguette en bois (préalablement lavée à l'eau chaude) et nous appliquons le masque que nous laissons poser environ 15 minutes.

Il existe un autre masque, à base de *Lithotame*, *Chlorelle* et *Spiruline*, idéale pour les peaux fatiguées qui manquent de tonus. Ces algues concentrent une incroyable quantité d'éléments nutritionnels utiles à la peau. Grâce à ce masque, la peau est détoxifiée, hydratée et reminéralisée.

▪ **Pour fabriquer un soin cosmétique minceur à base d'algues à la maison :**

Pour préparer un soin cosmétique minceur pas cher pour lutter contre les rondeurs rebelles et la cellulite, faites confiance aux algues brunes. *Fucus*, *Chlorella* et *Laminaire* sont les alliées pour ce soin minceur maison :

- un flacon d'huile végétale de macadamia (tonique, hydratant, et stimulant de la circulation sanguine)
- *Chlorelle*, *Fucus* et *Lithotamne* (gélules à acheter en boutique bio)
- dans un bol, nous versons un peu d'huile de macadamia, le contenu d'une gélule de *Fucus*, une gélule de *Chlorella* et une gélule de *Lithothamne*, nous mélangeons bien.
- Nous pouvons utiliser cette huile minceur maison aux algues matin et soir : Il faut procéder à un massage long et par "palper rouler" en soulevant la peau entre les doigts, pour chasser la cellulite et drainer la peau.

▪ **Pour préparer soi-même un "bain thalasso" aux algues à la maison:**

A défaut d'un séjour en thalasso, nous pouvons préparer nous-même ce bain aux algues pas cher pour régénérer la peau, chasser le stress et retrouver un en clin d'œil une peau de bébé toute douce.

En boutique bio, il faut acheter des algues fraîches ou déshydratées : *Kombu*, *Dulse*, *Haricot de mer*, se prêteront bien à ce bain spa "maison". Nous coupons les algues entières en petits morceaux et nous les laissons cuire en "décoction" dans une casserole d'eau bouillante pendant 10 à 20 minutes. Nous filtrons l'eau et nous les ajoutons à un bain bien chaud.

Les figures ci-dessous représentent la *Dictyopteris* et la *Chlorella*.



Figure 80: Dictyopteris (une algue brune) / Chlorella (une micro-algue)

II.3 Les algues dans le domaine industriel :

➤ Les premiers usages industriels :

Les premiers usages industriels des algues en Bretagne remontent au 17^{ème} siècle. La production de soude à partir de cendre d'algues destinée à la fabrication de verre fut bientôt suivie par la production d'iode et plus récemment

d'alginate. Les principales étapes de la production s'effectuent dans le cadre d'ateliers, et d'usines avec un personnel spécialisé. [34]

-La soude (carbonate de sodium) :

Les algues sont exploitées à partir de la fin du 17^{ème} siècle et durant le 18^{ème} siècle en France pour fournir de la soude aux manufactures de verre. Les cendres de goémon sont utilisées en grande quantité notamment pour la fabrication de vitres. De nombreuses ordonnances royales réglementent la récolte du goémon dès cette époque. Ces savoir-faire liés à la production de verre et l'exploitation des algues ont principalement pour origine le Moyen-Orient et le monde méditerranéen. [34]

- L'iode :

La production de cendres d'algues perdurera durant le 19^{ème} siècle grâce à la production d'iode (procédé d'extraction chimique inventé en 1811). L'identification d'autres sources d'iodes concurrença fortement l'industrie bretonne d'iode dès la seconde moitié du 19^{ème} siècle et ce n'est que grâce à des accords commerciaux protégeant les productions nationales qu'elle put se maintenir jusque dans les années 1950. [34]

-Les Carraghénanes :

L'exploitation de certaines algues et notamment le *Chondrus crispus*, pour la production de gélifiants carraghénanes nécessaires à l'industrie alimentaire et chimique se développe en Bretagne essentiellement à partir de la fin du 19^{ème} siècle. [34]

➤ Les usages industriels actuels :

Le terme goémonier est lié au développement relativement récent de l'industrie des algues en Bretagne. Cette activité est liée à la transformation par l'industrie des algues en alginates (sortes de gélifiants) destinés à l'industrie agro-alimentaire. [34]

-Les alginates :

La production des alginates a pris son essor à partir des années 1960 et représentent aujourd'hui le principal débouché pour les algues en Bretagne. Cette exploitation repose sur la récolte de certains types d'algues et en particulier les laminaires qui sont récoltées par arrachage à l'aide de bateaux et de systèmes de grues hydrauliques. [34]

-Les biocarburants :

Après le maïs et le soja, les algues ont été mises en avant. Leurs caractéristiques écologiques et renouvelables sont deux atouts essentiels à la réussite du développement de biocarburants à partir d'algues. L'autre avantage des algues comparativement au maïs et au soja est que cette ressource est peu utilisée pour l'alimentation humaine. Il y aurait donc, selon les premières hypothèses de développement, peu de conflits entre ces deux secteurs.

Les algues ont besoin pour proliférer et se développer de consommer du CO₂ et de recevoir de la lumière du soleil, c'est la photosynthèse.

En partant de ce constat, un laboratoire américain a mis au point une technique consistant à récupérer le CO₂ émis dans l'atmosphère par les fours ou les usines thermiques de production d'électricité qui, pendant leur phase de com-

bustion, rejettent du dioxyde de carbone en abondance. [35]
Le principe est simple : il faut disposer des tubes transparents, laissant donc passer la lumière du soleil, dans lesquels sont placées les algues qui trempent dans l'eau. Ce ne sont pas n'importe quelles algues qui y sont placées, ce sont des micro-algues très riches en huile. Nous faisons au préalable circuler les gaz destinés à être rejetés dans l'atmosphère dans ces tubes remplis d'algues. Celles-ci se chargent donc en CO₂, présent dans les rejets industriels, les rendant donc plus pauvres en CO₂. [35]

La figure 81 illustre le principe du fonctionnement du bioréacteur.

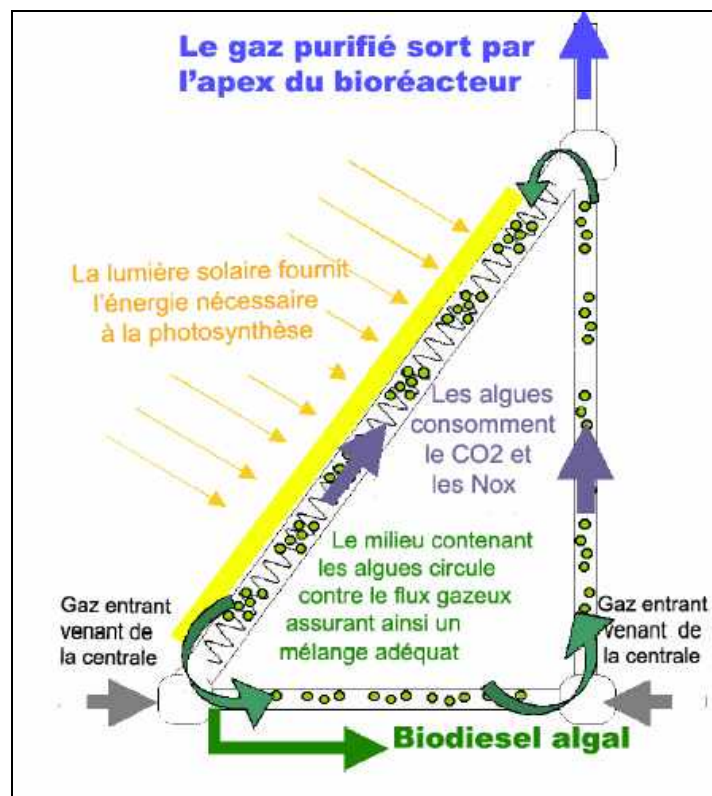


Figure 81: Le principe du fonctionnement du bioréacteur

Le procédé se présente comme une structure triangulaire constituée de tubes en polycarbonates de deux à trois mètres de long et de 10 à 20 cm de diamètre. L'hypoténuse du triangle est exposée au soleil et les deux autres cotés à l'ombre. Le gaz nettoyé par le bioréacteur sort ensuite par l'apex.

Les algues peuvent donc proliférer grâce à cet apport de dioxyde de carbone, si néfaste pour notre planète, et de la lumière du soleil. Quand celles-ci sont trop grandes, nous les évacuons pour les remplacer par des algues plus jeunes.

Lorsque l'ensoleillement est optimal sur ces tubes transparents, nous arrivons ainsi à capturer jusqu'à 80% du CO₂ contenu dans les gaz destinés à être rejetés. Quand cet ensoleillement est moindre, nous captions jusqu'à 50% de la quantité de CO₂ contenue.

Les algues ayant grandi dans ces tubes transparents sont ensuite séchées et permettent de produire du biocarburant comme de l'Éthanol, du Méthanol ou du Biodiesel à partir de leur biomasse ou une matière végétale bon marché pouvant être mélangée à du diesel. [35]

Le principal attrait de cette avancée technologique est donc double :

- La production d'agro-carburant sans engendrer de déforestation ou de pollution ... Comme le fait la culture de colza, de tournesols, de cannes à sucre. Le rendement de ces algues est phénoménal, un hectare de ces micro-algues permettrait de produire jusqu'à 30 fois plus qu'un hectare de colza ou de tournesol. [35]

- Ce rendement exceptionnel est principalement dû à sa très forte concentration en huile. [35]

La croissance de ces micro-algues est très rapide grâce à l'automatisation des cultures dans le bioréacteur. Il est ainsi possible d'effectuer une récolte complète en quelques jours, ce qui n'est pas le cas du tournesol ou du colza. Comme toute nouveauté technologique, celle-ci à un coût plus élevé que les autres moyens de production actuels. [35]

La figure 82 représente le schéma la transformation générale des algues et la figure 83 représente les biocarburants provenant des micro-algues lipidiques.

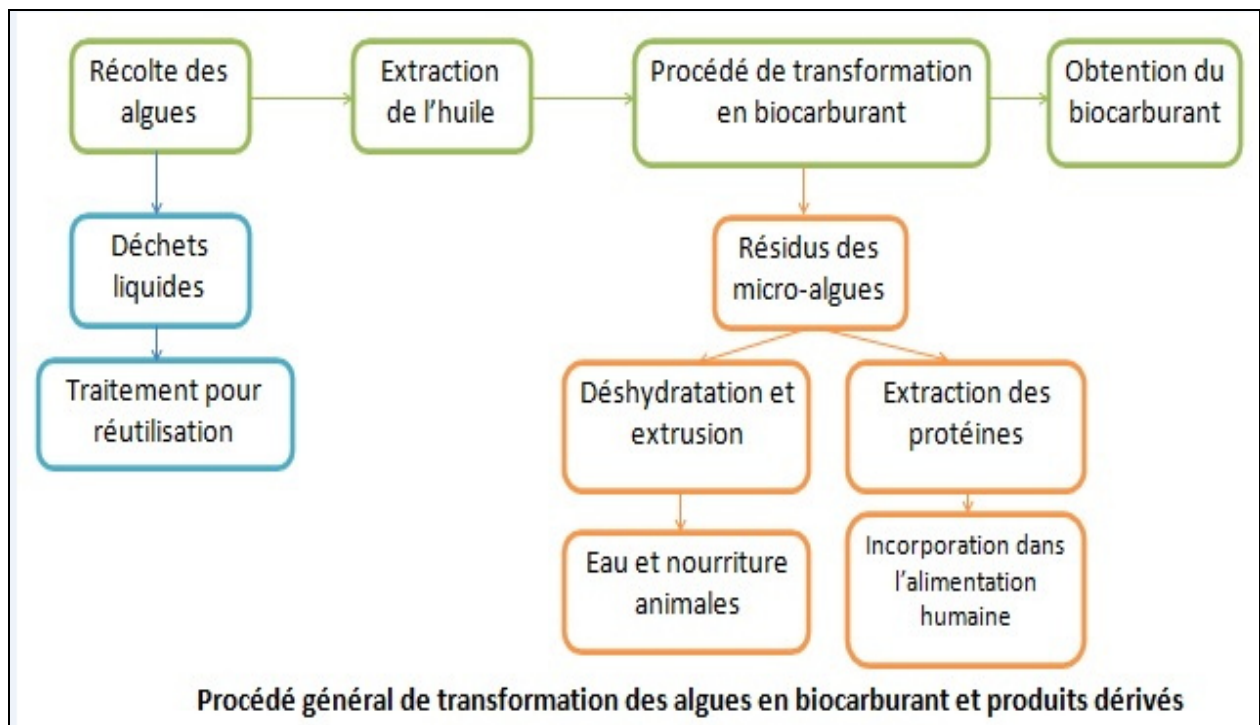


Figure 82: Schéma général de transformation des algues en biocarburant et produits dérivés

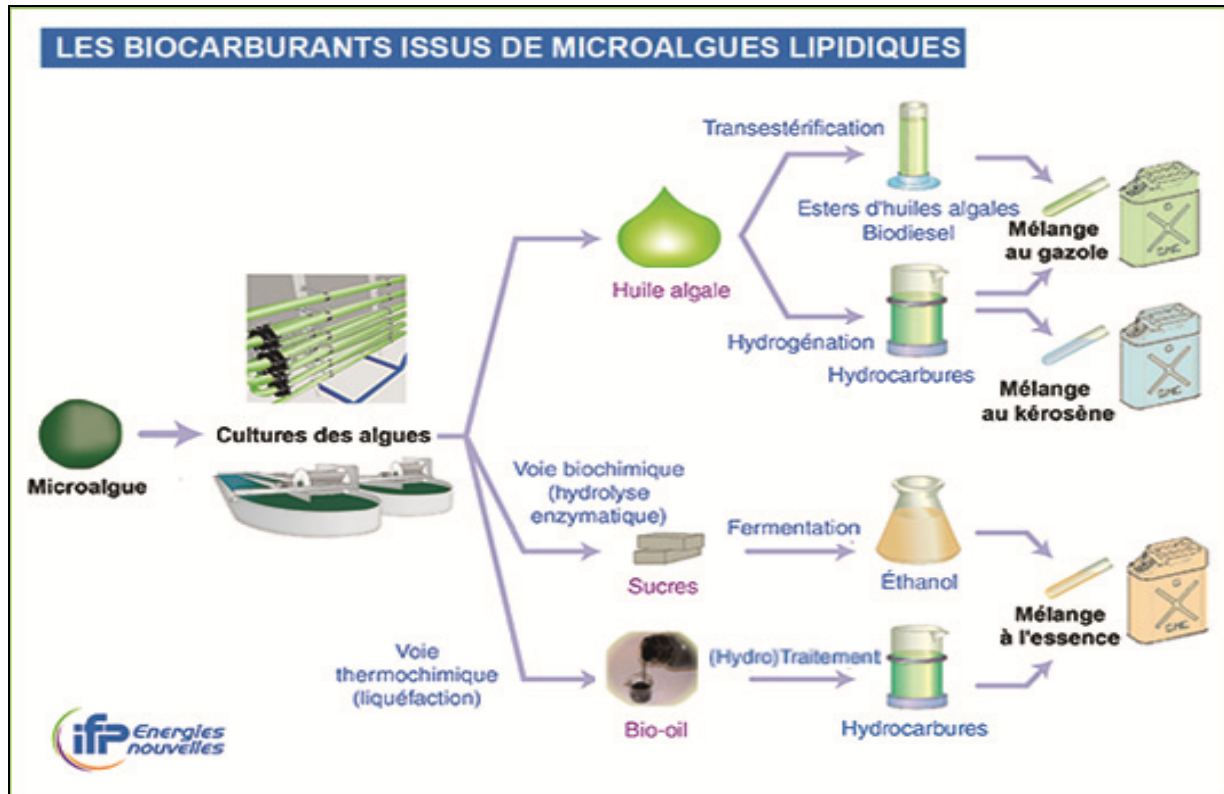


Figure 83 : Les biocarburants provenant des micro-algues lipidiques

II.4 Les algues dans le domaine de la santé :

Les algues étaient utilisées en phytothérapie chinoise traditionnelle dès le 16^{ème} siècle, et les algues brunes ont également été utilisées en médecine populaire en Occident. Jusqu'à tout récemment, il y avait bien peu de données sur la valeur pharmacologique de ces plantes, sauf en ce qui concerne leur capacité de compenser une carence en iode. [36]

Les comprimés et les poudres de « varech » (annexe 18) sont aujourd'hui des préparations très populaires en Amérique du Nord, et certains prétendent que ces algues sont utiles dans le traitement d'un grand nombre d'affections. [36]

Les propriétés thérapeutiques des algues brunes ont été largement attribuées à leur contenu en oligo-éléments, surtout l'iode, qui est généralement 20 000 fois plus concentré dans les algues que dans leur habitat aquatique. Cependant, les concentrations d'iode varient beaucoup d'une espèce à l'autre et même à l'intérieur d'une même espèce, de sorte que les produits commerciaux peuvent offrir des doses fortes différentes. [36]

En raison de leur très forte teneur en iode, les algues brunes ont été utilisées pour traiter le goitre, mais à cause de la grande variété des concentrations et des conditions d'absorption de l'iode fixé et non fixé dans la plante, ce traitement est tombé en désuétude. [36]

Aujourd'hui, soixante pour cent de tout le sel comestible est iodé, d'où une réduction marquée des troubles associés à la carence en iode, qui était la cause principale de retard mental évitable dans le monde entier jusqu'à tout récemment. Avant 1990, environ 40 millions d'enfants qui venaient au monde chaque année risquaient d'être atteints de déficience mentale à cause d'une carence en iode dans l'alimentation de leur mère. En 1997, ce chiffre avait chuté à environ 28 millions. [36]

Les algues brunes sont maintenant commercialisées comme agent amaigrissant. En effet, elles sont censées accroître la production d'hormones thyroïdiennes qui accélèrent le métabolisme et éliminent les dépôts de graisse. [36]

Les polyphénols présents dans les algues brunes ont une activité antibiotique, ce qui peut être utile pour une application externe. L'algine contenue dans les laminaires est un laxatif mucilagineux doux. Les fucanes des laminariales et des fucales sont des polysaccharides sulfatés. Des recherches récentes ont révélé

que ceux-ci pouvaient être utilisés comme agents antithrombiniques, anticancéreux et anticoagulants. De toutes ces propriétés, c'est sans doute l'activité antitumorale qui est la plus excitante ; les résultats préliminaires indiquent en effet que les fucanes sont des agents anticancéreux très puissants.

De plus, certaines préparations commerciales d'algues brunes sont très riches en calcium et en magnésium, deux électrolytes qui ont une grande valeur nutritionnelle. [36]

Une autre application médicale intéressante repose sur la capacité des stipes séchés de *Laminaria* d'augmenter de 3 à 5 fois leur circonférence originale lorsqu'ils sont mouillés. Ces stipes séchés ont été utilisés pour produire une dilatation mécanique non instrumentale du canal cervical pendant l'accouchement et lors d'un traitement gynécologique. [36]

De nombreuses spécialités pharmaceutiques intègrent dans leur formulation des colloïdes algaux comme excipients (sirops, enrobage des pilules et dragées). L'usage des algues en tant que principe actif est très restreint :

- Dans le domaine des **compresses** mises en contact des plaies, les alginates s'illustrent par leur exceptionnelle biocompatibilité : l'alginate de calcium possède une forte capacité de drainage et rétention des exsudats. En outre, les compresses imprégnées d'alginate fixent un grand nombre de bactéries de façon irréversible (ces bactéries ne prolifèrent pas dans la plaie qui cicatrise beaucoup plus rapidement). [29]
- Dans le domaine des **anti-inflammatoires** œsophagiens les alginates sont couramment utilisés (Gaviscon). [29]

- Dans le domaine de **traitement de la constipation**, les alginates sont utilisés (dragées Fuca) ainsi que les carraghénanes et les agars (effet laxatif mécanique).
- L'alginate de calcium se distingue par son pouvoir **hémostatique** mis à profit dans le traitement des saignements de nez (Coalgan). [29]
- L'acide kaïnique, molécule proche des acides aminés extraite des algues rouges, est un **vermifuge** efficace contre les ascaris et les oxyures. [29]
- L'algue rouge *Porphyra* présente un effet **hypotenseur important**.

Des pistes prometteuses de développement, notamment dans les domaines des anticoagulants, voir des anti-tumoraux et des antiviraux à plus long terme. [29]

-Les algues « agents antiviraux » :

Nous avons signalé que des extraits de plusieurs algues marines avaient une activité antivirale, mais les tests ont été effectués soit *in vitro* (dans des éprouvettes ou des appareils semblables), soit chez des animaux, et nous avons effectué peu d'études chez l'être humain. Le Carraguard (qui est un mélange de carraghénanes) est efficace contre le virus de l'immunodéficience humaine (VIH) *in vitro* et contre le virus Herpès simplex 2 chez les animaux. Les essais en sont arrivés au stade où à présent l'organisme international de recherche, le *Population Council* supervise des essais à grande échelle de Carraguard contre le VIH, portant sur 6 000 femmes pendant quatre ans. Des extraits d'une algue marine brune, *Undaria pinnatifida*, ont également révélé une activité antivirale. [23]

Dans la mesure où les substances antivirales contenues dans les algues marines sont de très grosses molécules, nous avons pensé qu'elles ne pourraient être absorbées en mangeant ces plantes. Toutefois, un examen a permis de constater que le taux d'infection au VIH dans les communautés où nous mangeons des plantes marines était nettement plus faible qu'ailleurs. Cela a conduit à faire certains essais à petite échelle où des personnes touchées par le VIH mangeaient de l'*Undaria* en poudre, ce qui amenait une diminution de la charge virale de 25 pour cent. Les algues marines vont peut-être se révéler être une source efficace d'agents antiviraux. [23]

-Hormones de croissance à base d'algues :

Les recherches du biologiste Navindra Boodia sur la fabrication d'hormones de croissance à base d'algues présentent un fort potentiel. Selon lui, dans quelques années, nous pourrions produire des hormones de croissance à partir d'algues de nos lagons pour doper la production de légumes. "Les recherches sont prometteuses. Il nous reste seulement à trouver un moyen de conserver le produit sur le long terme", dit-il.

Il faut savoir que les hormones de croissance naturelles rendent les végétaux plus résistants aux parasites, aux maladies et aux aléas climatiques. [37]

-Les algues « Un nouvel espoir pour la recherche de traitement contre la cécité »

Aujourd'hui, une quarantaine de médicaments contiennent des principes actifs extraits d'algues. Ajouté à cela, les recherches en cours sur les molécules d'algues n'ont pas fini de nous étonner : des scientifiques américains ont

récemment découvert un gène d'algue qui, inséré dans la rétine, a permis à des souris aveugles de recouvrer la sensation de la lumière. [38]

-Les algues au secours du Paludisme :

Alors que le paludisme, aussi appelé malaria, tue environ un million de personnes par an, l'équipe du professeur Julia Kubanek de l'école de chimie et biochimie au Georgia Institute of Technology (GT), à Atlanta, a récemment découvert le mode d'action d'une algue rouge ayant des propriétés antipaludiques. L'algue tropicale, récoltée aux îles Fidji, nommée *Callophycus serratus* a particulièrement attiré leur attention car elle était l'une des seules qui ne présentait pas à sa surface de contamination microbienne parmi les 800 espèces récoltées. [39]

L'équipe de J. Kubanek associée au professeur Facundo Fernandez du département de Spectrométrie de Masse Bio-analytique de GT ont isolé des molécules chimiques à partir d'échantillons prélevés sur la surface des algues. Les molécules ont été analysées grâce à la technique utilisée par F. Fernandez appelée Spectrométrie de Masse à Désorption par Ionisation à Electrospray (Desorption Electrospray Ionization Mass Spectrometry) qui les sépare en fonction de leur poids moléculaire. Des composés de grand intérêt ont été isolés : les bromophycolides²³ qui trouvés sur la surface de l'algue *Callophycus serratus* empêchent les attaques fongicides de *Lindera thalassiae*. [39]

Selon J. Kubanek les bromophycolides tuent les parasites. Ces molécules empêchent une partie de l'hémoglobine contenue dans les globules rouges de cristalliser, ce qui a pour effet de réduire l'infection par le parasite. Ce mode de

fonctionnement étudié in vitro est apparemment identique à celui mis en œuvre par les médicaments antipaludiques actuellement commercialisés. [39]

A partir de ces études, il a été démontré in vitro que les bromophycolides avaient également des propriétés antipaludiques et pourraient donc servir à la mise au point de médicaments ou de vaccins contre le paludisme. [39]

La figure 84 représente le *Callophycus serratus*.



Figure 84: *Callophycus serratus* (un genre d'algue rouge)

➔ Le tableau VII représente les différentes activités biologiques des extraits d'algues utilisés en médecine.

Tableau VII: Les extraits d'algues utilisés dans la médecine et leurs activités biologiques.

Activités biologiques	Actifs
Antibiotiques	Composés aromatiques, aliphatiques phénoliques, terpènes polysaccharides, oligosaccharides
Anti-coagulant/Anti-thrombotique	Oligosaccharides sulfatés (fucanes)
Anti-inflammatoire	Polysaccharides, oligosaccharides
Anti-tumorale	Polysaccharides, oligosaccharides
Anti-ulcère	Polysaccharides, oligosaccharides (alginate, carraghénanes)
Anti viral (Herpès, HIV)	Polysaccharides (fucanes, carraghénanes, galactomannanes, agaranes)
Hypocholestéremiante	Iode, polysaccharides
Traitement contre le goitre	Iode
Vermifuge	Acide kaïnique

➤ Les algues et la nutrition :

Les algues sont présentes dans la médecine chinoise depuis des millénaires, largement consommées en Asie de l'Est, au Japon, en Corée ou en Chine. Côté Occident, c'est seulement depuis le début du 20^{ème} siècle qu'elles sont utilisées, pourtant leurs propriétés sont nombreuses : antivirales, antibactériennes, anti-inflammatoires, anticoagulantes et anti-tumorales. Lancé il y a quelques années, le programme européen SeaHealth vise à déterminer le rôle antioxydant des algues. Cette étude, toujours en cours, a récemment découvert un effet préventif chez l'animal contre l'athérosclérose, une maladie de cœur grave.

Elles servent notamment à accompagner des régimes amincissants, à soulager des rhumatismes, de la constipation, des troubles pulmonaires ou thyroïdiens. Elles préviennent également contre les maladies cardiovasculaires, les cancers et les maladies dégénératives. [38]

Les algues font partie des aliments riches en protéines et en sels minéraux, elles sont un vrai cocktail santé idéal pour équilibrer son alimentation et combler ses carences. Elles sont en effet une excellente source de **protéines végétales** : entre 25 et 35 % (c'est plus que le poisson ou la viande !). Certaines, comme la *Spiruline*, en contiennent même jusqu'à 70 %.

De plus, contrairement aux légumineuses, qui sont d'autres sources de protéines végétales, les algues comestibles apportent la quasi-totalité des acides aminés indispensables à l'organisme. En clair, les protéines végétales des algues sont des protéines complètes, directement utilisables par l'organisme. [42]

Autre avantage des protéines végétales contenues dans les algues : elles ne sont pas associées à des matières grasses (contrairement à celles de la viande). En effet, les algues ne contiennent que 2 à 3 % de graisse et ce sont de bonnes graisses (oméga-3 et oméga-6).

Cependant, les algues augmentent de taille en entrant en contact avec l'eau, leur milieu naturel, produisant un effet activant et par un autre, étant donné leur grand apport d'iode (les algues marines sont des aliments cinq fois plus riches en iode que l'eau de mer), règlent le fonctionnement de la glande thyroïde, responsable pour que nous brûlons les hydrates de carbone que nous ingérons. [42]

Les **propriétés amaigrissantes des algues** sont dues au fait qu'elles apportent le mucilage (pardessus la mousse de l'Irlande et l'agar-agar) : un type de fibre qui stimule ce qui est bon pour le fonctionnement du gros intestin en permettant une bonne élimination quotidienne des résidus, condition indispensable pour éliminer l'excès de poids. Elles peuvent donc parfaitement s'intégrer dans le cadre d'un régime minceur.

La figure 85 représente des produits minceurs à base de *Fucus*.



Figure 85: Produits minceurs à base de Fucus

Riche en polysaccharides (sucres hydratants) et en polyphénols (antioxydants naturels), le Fuco'slim (extrait de *Fucus*) est connu et largement utilisé en cosmétique pour sa richesse en oligo-éléments reminéralisants comme l'Iode, le Fer, le Calcium.

C'est aujourd'hui un ingrédient incontournable des cures amincissantes et raffermissantes réalisées dans les centres de thalassothérapie et les instituts de beauté. [43]

Parmi les algues ayant plusieurs effets sur la santé, nous retrouvons la ***Spiruline***, une algue qui existe telle quelle depuis plus de 3 milliards d'années. Ainsi nommée en raison de sa forme spiralée, elle appartient à la famille des cyanobactéries ou micro-algues bleu-vert. Il existe près de 1 500 espèces d'algues bleues, et 36 espèces de spiruline sont comestibles. La principale espèce actuellement offerte sur le marché est la ***Spirulina platensis***. D'abord cultivée principalement en Californie et à Hawaï, la *Spiruline* est maintenant produite de façon contrôlée partout dans le monde où le climat le permet : Chili, Chine, Cuba, Inde, Afrique de l'Ouest, Grèce, etc. Dans le commerce, elle se présente généralement sous la forme d'une poudre bleu-vert déshydratée, en vrac ou en capsules. [44]

Elle est faible en calories, contient une mine de nutriments dans un très petit volume. Sa teneur peut cependant varier selon son origine géographique, mais aussi selon les procédés de culture, de séchage et de broyage. [44]

La *spiruline* contient de 55 % à 70 % de protéines d'excellente qualité (proportion des acides aminés et digestibilité optimales), soit de 2,5 g à 3,5 g de protéines par 5 g de poudre, elle représente une source exceptionnelle de caroténoïdes variés (bêta-carotène principalement, mais aussi cryptoxanthine²⁴, lutéine, zéaxanthine, etc...), soit autour de 22 mg/5 g. Elle fournit notamment une quantité astronomique de bêta-carotène, soit de 12 000 UI à

25 000 UI par 5 g de poudre. Elle constitue une excellente source de fer, soit de 3 mg à 8 mg par 5 g. [44]

Elle contient une quantité appréciable d'acide gamma-linolénique (de 40 mg à 50 mg/5 g), un acide gras insaturé de la famille des oméga-6. [44]

De plus, la spiruline est riche en phycocyanine²⁵, le seul pigment bleu naturel pouvant servir de colorant alimentaire et auquel on attribue une activité antioxydante importante. Elle contient également de la chlorophylle et de petites quantités de plusieurs minéraux. Voilà pourquoi nous parlons souvent de cette algue comme d'un « **superaliment** ». [44]

Vu que la *Spiruline* est très riche en nutriments et qu'elle peut être produite localement, elle est utilisée pour combattre la malnutrition dans plusieurs pays.

❖ Des recherches sur la *Spiruline* :

Plusieurs essais ont démontré que la *Spiruline* peut :

✓ Réduire les lipides sanguins : À ce chapitre, les résultats d'essais sur des animaux et des humains sont prometteurs, mais pas assez convaincants pour conclure à l'efficacité de la spiruline. En effet, 7 essais, comptant peu de sujets (40 ou moins) et dont la méthodologie laisse souvent à désirer, indiquent que la *Spiruline* pourrait faire baisser légèrement les taux de lipides sanguins. [44]

✓ Réduire les symptômes du rhinite allergique : Un essai mené en Turquie a porté sur 129 personnes atteintes de rhinite allergique. La prise de 2 g de *Spiruline* par jour, durant 16 semaines, a été beaucoup plus efficace qu'un placebo pour réduire les symptômes des participants. Les propriétés anti-inflammatoires de la *Spiruline* (2 g par jour pendant 12 semaines) pourraient être

responsables de la réduction des symptômes accompagnant les allergies nasales. Deux autres essais indiquent que la *Spiruline* a un rôle positif sur le système immunitaire des muqueuses des voies nasales. [44]

✓ Corriger le diabète : Des études préliminaires sur des personnes atteintes de diabète de type 2 rapportent qu'un traitement de 2 mois avec la *Spiruline* réduirait les niveaux de glycémie à jeun. Une autre étude indique que la *Spiruline* augmente l'efficacité de l'insuline chez des patients diabétiques atteints du VIH. D'autres études sont nécessaires pour confirmer ces résultats. [44]

✓ Influencer le système immunitaire : Des essais, préliminaires pour la plupart, indiquent que la prise de *Spiruline* peut influencer positivement certains marqueurs de l'immunité chez des personnes en bonne santé ou souffrant de rhinite. [44]

Ce qui fait de la *Spiruline* l'aliment miracle qui faciliterait la perte de poids, préviendrait le cancer, réduirait le cholestérol, lutterait contre la fatigue ou le vieillissement !

La figure 86 représente un complément alimentaire à base de *Spiruline*.



Figure 86: Un complément alimentaire à base de Spiruline

Des pistes médicales sérieuses :

La médecine utilise les nutriments des algues dans certains médicaments pour éviter la décalcification ou encore pour traiter certaines maladies de l'œsophage. C'est la preuve de leurs bienfaits sur notre organisme. Ces plantes aquatiques protègeraient également le cœur, favoriseraient une baisse du cholestérol et permettraient de détoxifier l'organisme des substances indésirables. [45]

Mais leurs bienfaits ne s'arrêtent pas là. Elles lutteraient aussi contre la fatigue, la perte de mémoire, la dépression ou encore l'hypoglycémie. Les algues sont composées de certains antioxydants uniques, comme la fucoxanthine et la phycoérythrine²⁶. La fucoxanthine, qui réside dans les algues brunes, pourrait limiter la croissance des cellules cancéreuses. Quant à la phycoérythrine, disponible dans les algues rouges, elle serait susceptible de traiter des maladies dégénératives, en ophtalmologie, en cardiologie et dans le traitement de certains cancers. Pour confirmer ces débuts de piste très prometteurs, de nouvelles avancées scientifiques sont indispensables. [45]

Au-delà des oxydants spécifiques à leur composition, les algues contiennent par ailleurs les mêmes antioxydants que ceux des fruits et légumes : la lutéine et la zéaxanthine, qui protègent des maladies dégénératives de l'œil, ou encore le bêta-carotène, les polyphénols et les vitamines A, C, E et B12. Cette dernière vitamine est très intéressante à consommer, dans le cadre d'un régime végétarien ou végétalien. Enfin, les algues sont très riches en protéines et la plupart contiennent des taux d'acides aminés essentiels comparables aux œufs et aux légumineuses (haricots secs, lentilles). [45]

Les algues brunes et les algues vertes sont aussi riches en fibres, ce qui les rend intéressantes pour le transit. [46]

Certaines études épidémiologiques menées en Asie tendent à montrer un **lien entre consommation d'algues et bonne santé**. Nous notons ainsi une plus faible incidence des cancers du sein, du colon et de la prostate ou encore des effets bénéfiques sur la pression artérielle.

D'autres recherches médicales effectuées jusqu'ici démontrent que la consommation quotidienne de 2 ou 3 grammes d'algues entraîne les résultats suivants : [46]

- l'élimination de symptômes comme les maux d'estomac, le gonflement, le pyrosis et d'autres problèmes chez des patients souffrant d'ulcères gastriques ou duodénaux ;
- une réduction des nausées et un accroissement du niveau d'énergie chez les patients cancéreux qui relèvent de chirurgie et sont traités par radiothérapie ;
- un retour accéléré à la normale du nombre de cellules blanches chez les patients en traitement contre le cancer ;
- la normalisation rapide du métabolisme des hydrates de carbone ;
- une habileté accrue à éliminer les métaux lourds toxiques ;
- un amoindrissement des allergies saisonnières dues au pollen.

Les algues doivent être consommées une fois par semaine ; une grande partie de la population possède un taux d'iode trop bas. Aussi, la consommation d'algues est particulièrement conseillée pour les personnes qui souffrent d'hyperthyroïdie. Pour les autres, qui n'ont pas de problème de thyroïde, il est préférable de consommer des algues au rythme d'une fois par semaine. En effet, malgré leurs bénéfices certains pour la santé, il convient toutefois de les consommer avec parcimonie, en raison des taux d'iode et de sodium élevés. Les hypertendus doivent absolument éviter leur surconsommation.

II.5 Autres utilisations :

- Les algues « des biocombustibles » : Certaines micro-algues ont la capacité de produire de l'hydrogène grâce à des enzymes, les hydrogénases, lors de la photosynthèse. Or cet hydrogène peut être utilisé comme biocombustible et ainsi servir de source d'énergie propre et renouvelable.

Des recherches sont menées pour augmenter la production de cet hydrogène, grâce aux domaines de recherche en biologie structurale, en génie génétique et ingénierie des protéines. [26]

- Les algues dans le traitement des eaux usées : Les micro-algues semblent pouvoir servir dans des usines de traitement d'eaux usées. En effet, l'addition de micro-algues dans des eaux usées ne contenant ni métaux lourds ni radio-isotopes, peut atténuer les impacts des effluents de ces eaux et des déchets industriels azotés. De plus, en enlevant de l'azote et du carbone de l'eau, les micro-algues peuvent aider à réduire l'eutrophisation de certains milieux aquatiques (eutrophisation : enrichissement en sels minéraux d'un milieu aquatique qui entraîne un déséquilibre écologique). [26]

Les algues brunes de type Laminaires sont séchées à l'air libre puis emballées dans des bombes qui servent au recyclage des eaux usées : ces algues sont capables de fixer les métaux lourds (plomb, mercure) et l'iode dans l'eau. [29]

- Les micro-algues sont également source de biomatériaux comme l'amidon qui peut servir à la fabrication de plastiques recyclables. [26]

- D'autres industries utilisent les algues pour la fabrication de colles, peintures et des isolants thermiques (diatomite). [29]

- Dans la microbiologie : Nous pouvons extraire des algues des composés antimicrobiens, tel que certains composés phénoliques dont le rôle principal est de protéger les algues contre les microorganismes pathogènes. Ainsi que nous pouvons les utiliser dans les milieux de culture (milieux d'isolement qui sont solides : présence d'agar à 15g/L = poly-galactoside sulfaté, extrait d'algues rouges, non dégradé par la plupart des micro-organismes, liquide à $>45^{\circ}\text{C}$ et solide à $<45^{\circ}\text{C}$). [40]

- Les algues en dentisterie : pour les empreintes dentaires. [41]

- Dans l'industrie textile : pour l'impression des tissus. [29]

Partout dans le monde, l'intérêt pour les algues est de plus en plus grand et ce dans divers domaines tels que les biocarburants de troisième génération, la pharmacologie, la médecine et l'aquaculture... En effet, elles présentent un rendement photosynthétique élevé et permettent ainsi un fort recyclage du CO₂ industriel. Leur utilisation comme source d'énergie permet aussi d'éviter les compétitions pour l'eau potable et les surfaces cultivables.

III. Conclusion :

Etant un producteur primaire, Les algues sont essentielles à la survie des milieux aquatiques lorsqu'elles sont utilisées en quantités raisonnables. De plus, les gens commencent à comprendre l'intérêt que peut présenter leur exploitation, notamment dans les domaines de l'agro-alimentation (certaines algues sont utilisées dans des salades, sauces...d'autres sont utilisées dans la production d'engrais), la cosmétologie (pour produire des masques, des crèmes, des exfoliants...), l'industrie (essentiellement dans la production de biocarburants) et la médecine (certaines algues ont des activités antivirales, antibiotiques, anti-inflammatoires, vermifuges...). [47]

Les algues peuvent être considérées comme une bénédiction pour les populations vu leur richesse en sels minéraux et vitamines, elles contiennent des protéines et sont très peu caloriques, d'où leurs grands intérêts sur la santé humaine.



*Conclusion générale
et perspectives
d'avenir*

Les algues. Elles sont partout autour de nous, magnifiques, exubérantes, utiles, discrète et parfois très expansives, bizarres mais en tous cas étonnantes.

Elles produisent un composé qui, dégradé par les bactéries marines, devient volatile. Ce composé est aussi capable de favoriser la naissance des nuages. Ce, d'autant plus que le soleil frappe fort, les algues ont ainsi les moyens de se fabriquer leur propre parasol...ce qui peut être intéressant dans un contexte de réchauffement climatique. [48]

L'évocation des algues peut ainsi réveiller des centres d'intérêts les plus variés selon l'expérience ou le contexte de vie de chacun. Elles occupent les habitats les plus divers à la surface de notre planète et leur aspect parfois étonnant varie au grès des saisons et du cycle de vie des espèces. Le maître-mot est sans doute leur extrême diversité. Elles ont une classe clé dans le vivant, elles présentent une large diversité d'organismes et de métabolismes différents qu'elles constituent un potentiel de ressources naturelles gigantesque. [48]

Des microscopiques aux géantes, de l'eau douce au milieu marin, la palette des algues est large, elles nous présentent leur grande variété de tailles, de morphologies, de couleurs et de modes de vie. Grande est aussi leur influence sur l'environnement où nous vivons. Si nous sommes particulièrement sensibles aux désagréments que nous causent parfois leur prolifération, nous comprenons aussi pourquoi les algues sont des indicateurs fort précieux de l'état de santé de cet environnement. [48]

Partout dans le monde, l'intérêt pour les algues est de plus en plus grand et ce dans divers domaines tels que les biocarburants de troisième génération, la pharmacologie, la médecine et l'aquaculture, l'industrie, etc. En effet, elles présentent un rendement photosynthétique élevé et permettent ainsi un fort recyclage du CO₂ industriel. Leur utilisation comme source d'énergie permet aussi d'éviter les compétitions pour l'eau potable et les surfaces cultivables. Même si les algues présentent tous ces avantages, de nombreux défis sont encore à relever afin d'augmenter la production de biomasse et celle d'énergie.

De plus, les coûts de production et d'extraction de lipides restent encore trop élevés pour pouvoir remplacer à l'heure actuelle les énergies fossiles par les biocarburants de troisième génération. La production de molécules à hautes valeurs ajoutées, issues des résidus d'extraction, pour l'industrie en général ou l'utilisation de la biomasse algale en méthanisation ou pisciculture semblent être les seules solutions à l'heure actuelle permettant de rentabiliser les algocarburants. [26]

Les algues ont toujours fait rêver et le rêve est un moteur efficace d'invention. Pas étonnant, dès lors, que les chercheurs les aient particulièrement courtisées pour satisfaire leurs curiosités. [48]

L'éclosion des biotechnologies, particulièrement fructueuse au cours de ces dernières décennies, n'est pas terminée. Les algues n'ont pas livrés tous leurs secrets. Il se murmure, dans les laboratoires, qu'elles pourraient encore bien nous surprendre...

J'ai tenté, par le biais de ce travail, d'apporter quelques notions qui nous permettrons d'accroître nos connaissances sur les algues. Je n'en connaissais que très peu de choses et cette recherche m'a alors permis d'en avoir une approche plus correcte et d'étoffer ma culture générale. Désormais, il me serait possible de reconnaître certaines espèces d'algues, ou de renseigner quelqu'un sur ses utilités. J'espère également que ce mémoire vous permettra de découvrir ou de compléter vos connaissances sur le sujet. [48]



Résumés

Résumé

Titre: Les algues, utilisations et intérêts pour la santé

Auteur: MAMOUNI Rawia

Mots clés: Algue, algoculture, usages, transformation et santé.

Les algues sont des êtres vivants capables de photosynthèse dont le cycle de vie se déroule généralement en milieu aquatique.

Elles se composent généralement de protéines, d'une faible quantité de lipides comparée au fort pourcentage de glucides, qui sont essentiellement sous forme de polysaccharides. Elles contiennent également de fortes teneurs en minéraux et de nombreux oligo-éléments ainsi que des vitamines, des phytohormones et des pigments. Les algues sont classées selon deux critères importants : la structure cellulaire et l'organisation de l'appareil végétatif.

Les algues font partie des aliments riches en protéines et en sels minéraux, elles apportent la quasi-totalité des acides aminés indispensables à l'organisme faisant d'elles un cocktail santé idéal pour équilibrer son alimentation et combler ses carences.

Durant plusieurs années, les algues étaient récoltées sur la mer, le rivage et la plage manuellement ou à l'aide de navires. Les nouvelles limites imposées par les autorités compétentes et les difficultés de la cueillette en mer ont progressivement mené à l'instauration d'une culture comportant plusieurs avantages importants notamment une production homogène et de qualité supérieure.

Après la récolte, les algues sont ensuite transformées en divers produits utilisables dans différents domaines industriels notamment l'agro-alimentation, la cosmétique, la médecine et dans d'autres domaines comme le traitement des eaux usées.

Le Maroc, vu sa situation géographique, possède tous les atouts pour développer des produits à base d'algues. Ceci aura certainement des retombées sur le développement économique, social et sanitaire.

SUMMARY

Title: Algae, uses and interests for health

Author: MAMOUNI Rawia

Keywords: Algae, culture, uses, transformation and health.

Algae are living beings capable of photosynthesis witch life cycle usually takes place in water.

They usually consist of proteins, a small amount of fat compared to the percentage of carbohydrates, which are mainly in the form of polysaccharides. They also contain high levels of minerals and numerous trace elements and vitamins, plant hormones and pigments. Algae are classified according to two major criteria: the cell structure and the organization of the vegetative apparatus.

Algae are among foods rich in protein and minerals, they provide almost all the amino acids essential to the body which makes them an ideal health drink for a balanced diet while addressing its shortcomings.

For many years, seaweed were manually harvested on the sea and sea shores or using ships. However, the limitations imposed by the competent authorities and the difficulties of collecting at sea lead to moving towards culture that have several important advantages including a homogenous high quality production.

After harvest, the algae are then transformed into products used in various industrial domains including the agri-food, the cosmetic, the medicine and other areas such as wastewater treatment.

Given its geographical situation, Morocco possesses several assets to develop products based on seaweeds. This will undoubtedly have an impact on the economical, social and sanitary development.

ملخص

العنوان: الطحالب، الاستخدامات وفوائدهم على الصحة

من طرف: ماموني راوية

الكلمات الأساسية: الطحالب، زراعة الطحالب، الاستخدامات، التحويل والصحة.

الطحالب كائنات حية قادرة على التمثيل الضوئي حيث ان دورة حياتها تجري عادة في وسط مائي. وهي تتألف عادة من البروتينات وكمية صغيرة من الدهون بالمقارنة مع النسبة القوية للنشويات التي توجد أساسا على شكل كربوهيدرات. كما انها تتضمن نسب قوية من المعادن والعديد من العناصر النزرة.

فيتامينات، هرمونات نباتية واصباغ. تصنف الطحالب البحرية وفقا لمعيارين اساسيين: البنية الخلوية وتنظيم الجهاز الخضري.

تعد الطحالب من بين الأطعمة الغنية بالبروتينات والمعادن، فهي توفر تقريبا جميع الأحماض الأمينية الأساسية للجسم مما يجعلها مشروب صحي مثالي لنظام غذائي متوازن ولمعالجة أوجه القصور.

لعدة سنوات، كان الناس يحصدون الطحالب على البحر والشاطئ، يدويا او عن طريق السفن ولكن نظرا للقوانين التي فرضتها السلطات المعنية والصعوبات التي تواجه القطف في البحر، اتجه الناس تدريجيا نحو الاستزراع الذي لديه العديد من المزايا الهامة بما في ذلك إنتاج متجانس وجودة عالية.

بعد الحصاد، يتم تحويل الطحالب إلى عدة منتجات تستخدم في مختلف المجالات بما في ذلك الأغذية الزراعية، ومستحضرات التجميل والصناعية والطبية وغيرها من المجالات مثل معالجة مياه الصرف الصحي.

يمتلك المغرب، نظرا لموقعه الجغرافي، جميع الميزات لتطوير المنتجات المستخلصة من الطحالب. وهذا سيكون له تداعيات على التطور الاقتصادي، الاجتماعي والصحي.



Annexes

Annexe 1 : Glossaire

- 1. Procaryote :** Est un organisme (bactérie, cyanophycée) unicellulaire qui ne possède pas de noyau. L'ADN est circulaire, généralement unique et regroupé dans un nucléoïde. Cette région contient le matériel génétique, mais n'est pas séparée du reste de la cellule. C'est précisément ce qui sépare le procaryote de l'eucaryote.
- 2. Eucaryote :** Désigne l'ensemble des organismes unicellulaires ou multicellulaires dont les cellules sont dites « eucaryotes ». Elles possèdent un noyau et des organites (réticulum endoplasmique, appareil de Golgi, plastes divers, mitochondries, etc...) délimités par des membranes.
- 3. Micro-algues :** sont des algues microscopiques unicellulaires. Elles peuvent être libres ou vivent en colonie. Leur cellule unique et indifférenciée assure toutes les fonctions. Ce sont des micro-organismes appartenant à deux groupes : les eucaryotes et les procaryotes. Elles vivent dans les milieux fortement aqueux. Les micro-algues eucaryotes possèdent une structure cellulaire végétale classique compartimentée, avec ou sans paroi cellulosique, et, avec des pigments photosynthétiques renfermés dans des plastes. Les micro-algues procaryotes, appelées aussi cyanobactéries, ont une structure bactérienne classique sans compartiment, les pigments photosynthétiques étant contenus dans des membranes lamellaires.
- 4. Macro-algues :** Algues de grandes dimensions visibles à l'œil nu.
- 5. Phytoplancton :** Le phytoplancton constitue l'ensemble des cyanobactéries et microalgues (végétaux microscopiques) présentes dans les eaux de surface et qui dérivent au gré des courants. Méconnu car invisible à l'œil nu, le phytoplancton est pourtant le poumon de notre planète. Grâce à la photosynthèse, il produit plus de la moitié de l'oxygène terrestre et consomme la moitié du dioxyde de carbone. Le phytoplancton est indispensable à la vie marine car il se trouve également à la base de la chaîne alimentaire océanique.
- 6. Lutéine :** La lutéine fait partie de la famille des caroténoïdes, c'est-à-dire des pigments orangés qui existent chez de nombreux êtres vivants. Elle sert d'antioxydant et protège l'organisme humain face aux radicaux libres, molécules chimiques qui en trop grande quantité sont responsables, notamment du vieillissement prématuré de la peau.

7. Zéaxanthine : Antioxydant de la famille des caroténoïdes. La Zéaxanthine se retrouve en grande quantité dans le maïs.

8. Catéchine : La catéchine est une molécule de la famille des flavonoïdes de la sous-classe des flavanols. Elle est aussi connue sous le nom de catéchol. Les catéchines ont des propriétés antioxydantes. Elles ont également d'autres mécanismes d'actions : protection cardiovasculaire, régulation du profil lipidique, régulation de la thermogénèse, de l'oxydation des graisses et de la dépense énergétique.

9. Fucoxanthine : La fucoxanthine est un pigment caroténoïde jaune de certaines algues (dont les algues brunes), absorbant les longueurs d'ondes vers 500-560 nm (bleu-vert) et constituant une composante importante de l'antenne, précisément l'antenne collectrice de ces algues.

10. Endosymbiose : est une théorie postulant que les plastes et les mitochondries des cellules eucaryotes dérivent de bactéries endosymbiotiques.

A cette théorie de l'endosymbiose primaire s'ajoute la théorie de l'endosymbiose secondaire, partant du principe que les plastes à plus de deux membranes de certaines algues sont dérivés d'algues possédant déjà un plaste d'origine endosymbiotique primaire.

11. Myzocytose : est un mode trophique de certaines dinophytes* et d'au moins une euglène, qui consiste à ou clonage végétal ingérer le contenu des cellules et de laisser la membrane-plasmique.

* Taxon d'eucaryotes alvéolates. Protozoaires phytoflagellés marins et d'eau douce (micro-algues). Ils ont une membrane de cellulose épaisse et deux flagelles, l'un équatorial, l'autre postérieur. Le plus souvent planctoniques, mais certains sont parasites. Beaucoup sont photosynthétiques.

12. Autotrophe : est un organisme capable de générer sa propre matière organique à partir d'éléments minéraux. Il utilise pour cela l'énergie lumineuse soit par photosynthèse soit par chimiosynthèse* chez quelques espèces.

* Une chimiosynthèse correspond à une formation/production de corps organiques réalisée notamment par les végétaux inférieurs sous l'effet d'une source d'énergie chimique.

13. Eutrophisation : Est la détérioration d'un écosystème aquatique par la prolifération de certains végétaux, en particulier les algues planctoniques. La cause peut être le rejet d'origine anthropique de nitrates (engrais azotés par exemple), de phosphates (lessives par exemple) et

de matières organiques. Les conséquences sont variables et nombreuses : prolifération des algues planctoniques et de certains types de zooplancton, modification des caractéristiques physiques et chimiques de l'eau, disparition ou forte réduction du nombre d'animaux et de certains végétaux, réduction de la teneur en oxygène, etc...

14. conchyliculture : La conchyliculture désigne un élevage de coquillages ou de tout mollusque bivalve.

15. Le fouling : Définit une interaction entre organismes marins. Au sens large, il s'agit d'une colonisation visant à s'établir, à s'étendre à de nouveaux territoires. Dans le cadre d'une surface immergée en milieu aqueux, le terme de colonisation est considéré comme synonyme de fouling

16. Micropropagation (ou clonage végétal) : Des explants issus d'une plante mère sont placés sur un milieu de croissance stérile (qui comprend du *saccharose* comme source d'énergie, des *oligo-éléments* comme nutriments) et dans un environnement avec une température, un taux d'humidité, une luminosité contrôlés.

Nous obtenons ainsi des plantes identiques génétiquement à la plante de départ en grande quantité grâce au phénomène de totipotence des cellules végétales (la totipotence ou la multiplication végétative est un processus spécifique des plantes. Chaque cellule possède en effet les potentialités nécessaires et suffisantes pour se multiplier, pour s'organiser en tissus différents permettant de reconstruire la plante.)

Cette technique comprend 4 étapes :

- L'initiation ou la mise en place des cultures, c'est l'étape la plus délicate et difficile qui permet d'obtenir le cal : amas de cellules indifférenciés capables de fournir des cals de seconde génération et de générations ultérieures.

- La multiplication

- L'enracinement

- Le sevrage et l'acclimatation.

17. Protoplaste : Sont des cellules végétales sans paroi obtenues expérimentalement par digestion de la paroi pecto-cellulosique. Pour obtenir ces protoplastes et les maintenir en vie, il faut les préparer et les conserver dans un milieu hypertonique qui plasmolyse les cellules et leur permet de ne pas éclater par entrée d'eau en l'absence de paroi.

- 18.** La variation somaclonale : est la variation observée dans les plantes qui ont été produites par la culture de tissus végétaux.
- 19.** Thalassothérapie : Une thalassothérapie est une cure qui permet de prendre soin de son corps et de son esprit grâce aux vertus de l'eau de mer. Une cure de thalassothérapie se déroule dans un institut en bord de mer. La thalassothérapie est basée sur les bienfaits de l'eau de mer et de l'environnement marin riche en sels minéraux comme les algues, la boue marine et l'air marin. En effet, l'air marin ainsi que les paysages relaxants en bord de mer participent aux bienfaits de la cure. Les soins thalasso s'appuient sur les principes de l'hydrothérapie. Ils peuvent être préventifs ou curatifs.
- 20.** Enveloppement d'algue : Est l'application d'un cataplasme d'algues chaudes sur tout ou partie du corps.
- 21.** Phycobiliprotéines : Distinguent des pigments hydrosolubles de certaines algues (cyanophycées, cyanobactéries), comportant une partie protéique et des chromophores, ou encore des bilines, liés de façon covalente à la protéine.
- 22.** Superoxyde dismutase : (SOD) est une enzyme fabriquée par tous les êtres vivants et indispensable à leur survie. Il s'agit de l'acteur principal de notre système de défense antioxydant.
- 23.** Les bromophycolides : Sont composés chimiques qui offrent aux algues des défenses immunitaires.
- 24.** Crypto-xanthine : Est un pigment caroténoïde présent en particulier chez les algues rouges et les glaucophytes. Nous distinguons les alpha et bêta-crypto-xanthines.
- 25.** Phycocyanine : Peut se trouver dans les cyanobactéries et les algues rouges. La phycocyanine (du grec *phyco* signifiant « algue » et cyanine venant de la couleur « cyan ») est l'association de protéines de la famille de phycobiliprotéine et de pigments hydrosolubles de la photosynthèse. La phycocyanine absorbe les lumières orange et rouge, dans des longueurs d'onde plutôt proches de 620 nm.
- 26.** Phycoerythrine : La phycoérythrine est un pigment rouge appartenant à la famille des phycobiliprotéines, ce pigment est caractéristique des algues rouges, cyanobactéries, auxquelles ce pigment permet d'absorber les radiations lumineuses de courte longueur d'onde, qui pénètrent en profondeur dans la mer.

Annexe 2 : Algues bleues

Les algues bleues sont aussi appelées *Cyanophycées* ou *Cyanobactéries* (du grec *cyan* = bleu). Ce sont des organismes microscopiques dont les cellules ne possèdent pas de noyau (*Prokaryotes*) et qui se rencontrent dans les milieux les plus variés : vases, terre humide, plancton, glaciers, sources thermales.

Elles sont soit unicellulaires, soit organisées en filaments de plusieurs dizaines de cellules. Lorsqu'elles sont filamenteuses, nous pouvons parfois les reconnaître à leur aspect, car elles forment des plaques plus ou moins denses, de couleur rouge, bordeaux, marron, voire vert. Elles peuvent vivre en *symbiose* avec les *Lichens* et les racines de plantes, comme celles des *Azollas* (petites fougères aquatiques). Les Cyanophycées jouent un rôle très important dans l'enrichissement en azote de certains milieux (toundra, rizières, lagons).

Certaines espèces s'encroûtent en s'agrégeant avec des éléments minéraux, et forment des structures patatoïdes, les *stromatolithes*, dont les plus anciens remontent à 3 milliards d'années et représentent les premiers vestiges d'une activité biologique végétale. Une espèce, de forme spiralée, a été cultivée à l'échelle industrielle au Mexique : il s'agit de la spiruline (*Spirulina platensis*). Constituée d'environ 60% de protéines, de carotène et de fer, elle fut désignée comme une solution à la malnutrition dans le tiers-monde. Aujourd'hui, elle est plutôt utilisée comme complément alimentaire

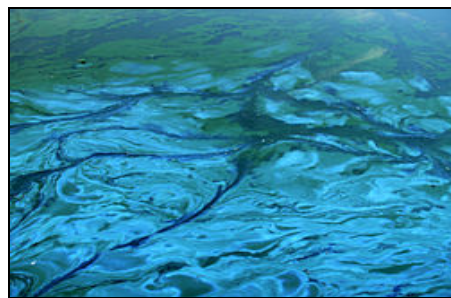


Figure 1: Algue bleue

Annexe 3 : Algues rouges et brunes

Végétaux aquatiques, les algues ne vivent pas enracinées mais simplement «cramponnées» au fond. C'est pourquoi on ne parle pas de racines, comme chez les plantes terrestres, mais de *crampon*, car ce système n'a pas pour rôle de prélever les éléments nutritifs du sol. Pour se nourrir, les algues absorbent les sels minéraux du milieu environnant à travers les parois de leurs cellules.

De la même façon, on parle de *stipe* pour la sorte de tige qui, partant du crampon mène à une lame, généralement aplatie, nommée *fronde*. L'ensemble constitue le *thalle* ; c'est pourquoi les algues, comme les champignons, sont des *Thallophytes*. Unicellulaires ou pluricellulaires, leur taille est donc très variable, allant du microscopique (0,2 millionième de mètre) au macroscopique (50 mètres).

Il est possible de distinguer les algues rouges, brunes et vertes, bien que la couleur ne fasse que compléter des critères biochimiques et reproductifs. Cette couleur est due à des *pigments photosynthétiques* qui rendent l'algue capable d'utiliser l'énergie lumineuse afin de construire des molécules à partir d'éléments simples.

Elles ont un rôle écologique primordial car elles produisent, grâce à la *photosynthèse*, une grande quantité de l'oxygène existant sur terre. Producteurs primaires, elles constituent aussi le premier maillon de la chaîne alimentaire dans les milieux aquatiques.

Les algues rouges et brunes sont aussi très souvent utilisées à des fins alimentaires (*Porphyra*, *Alaria*) ou industrielles (alginates).



Figure 2: Algue rouge

Annexe 4 : Algues vertes

Les algues vertes représentent le plus grand groupe d'algues par son nombre d'espèces, 0environ 20 000. La majorité est «terrestres» (vivant dans les lieux humides) et d'eau douce, mais plus d'un millier sont marines. Les études actuelles montrent que toutes les plantes terrestres ont pour ancêtre les algues vertes, car ces végétaux partagent de nombreux caractères communs. C'est pour cela qu'on les sépare des autres algues (rouges et brunes).

Les algues vertes possèdent des pigments verts (chlorophylles, caroténoïdes), stockés dans un organe cellulaire particulier nommé *chloroplaste*. Cet organite sert aussi au stockage de l'amidon, produit carboné de réserve issu de la photosynthèse.

Ces algues vivent dans des eaux peu profondes et sont très sensibles à la pollution organique ou en nitrates : elles se multiplient au point de provoquer de véritables marées vertes. Leurs formes et leurs tailles sont très variables : elles peuvent être microscopiques et unicellulaires comme la chlorelle (*Chlorella vulgaris*), utilisée comme complément alimentaire; macroscopiques et pluricellulaires, en forme de lames plates, comme la laitue de mer (*Ulva lactuca*) bien connue des pêcheurs à pied et consommée en salade dans les pays nordiques. D'autres, filamenteuses, se présentent sous la forme d'un tube, rappelant celui d'un intestin (*Enteromorpha intestinalis*).

Quelques espèces vivent en symbiose avec des Champignons (Lichens) ou des organismes animaux comme les Éponges, les Mollusques (les Bénitiers), les Ascidies.



Figure 3: Algue verte

Annexe 5 : Les mousses

Le groupe des Bryophytes (du grec *bruos*, mousse et *phuton*, plante), riche de plus de 25 000 espèces, rassemble les Mousses, les Sphaignes et les Hépatiques.

Ce sont des petites plantes vivant dans les endroits humides et marécageux. Elles occupent souvent des lieux que les autres végétaux ne pourraient pas coloniser (base des troncs d'arbres, rochers...). Elles ne possèdent pas de véritables racines absorbant l'eau du sol. Elles s'y fixent à l'aide de petits filaments, les *rhizoïdes*. La tige de la plante ne possède pas de vaisseaux conducteurs de la sève et porte des petites feuilles qui n'en ont que l'aspect.

Les Bryophytes sont caractérisés par leur cycle de développement et leur fécondation, exclusivement aquatique. À leur arrivée au sol, leurs spores vont germer, créant ainsi un filament avec des bourgeons mâle et femelle. Lorsque les bourgeons mâles sont mûrs, ils libèrent des gamètes flagellés, les *anthérozoïdes*. Ces derniers, uniquement capables de se déplacer dans l'eau, vont féconder les parties femelles pour former un œuf. Celui-ci, qui reste fixé à la plante, se développe et forme une petite tige portant une capsule qui contient les spores à maturité.

Les Sphaignes, qui vivent en colonies et sont exclusivement aquatiques, possèdent un pouvoir absorbant très important. Elles pourrissent par leur base et leurs débris constituent des *tourbières*. La *tourbe*, qui en est extraite, est utilisée pour le chauffage. Les Hépatiques sont, quant à elles, des plantes des régions chaudes et humides.

Ces végétaux ont un rôle important dans l'écosystème car ils stockent l'eau et en régulent l'utilisation par les autres végétaux, colonisent les milieux arides et forment ainsi une première couche d'humus. Les Bryophytes constituent de bons bio-indicateurs de la pollution atmosphérique et aquatique.



Figure 4: Les mousses

Annexe 6 : Les fougères

Le groupe des Ptéridophytes (du grec *ptéris*, fougère et *phuton*, plante), est un groupe ancien, comme les Bryophytes (mousses), apparu il y a environ 500 millions d'années. Principalement représenté par les Fougères, ce groupe de plus de 12000 espèces, rassemble aussi les Lycopodes, les Prêles et les Sélaginelles.

Souvent cantonnées dans les régions tempérées aux endroits ombragés et humides, elles ont conservé une partie de leur luxuriance d'antan dans les régions tropicales humides où elles représentent parfois 20% des végétaux présents.

Bien que certaines fougères puissent être arborescentes (plus de 20 m de hauteur), ce sont en général de petites plantes, vivaces par une tige souterraine horizontale nommée *rhizome* qui leur tient lieu de racines absorbant l'eau ainsi que les sels minéraux du sol. Plantes vasculaires, leur tige est pourvue de vaisseaux dans lesquels circule la sève.

Leurs feuilles ou frondes présentent de nombreuses formes : d'un simple ruban chez le Scolopendre (*Phyllitis scolopendrium*) à la grande feuille découpée et pennée pour le Polypode vulgaire (*Polypodium vulgare*). Chez les Prêles, les Lycopodes et les Sélaginelles, les feuilles sont très réduites et pourvues d'une seule nervure.

C'est ici encore leur cycle de reproduction qui les caractérise. Leur cycle est très semblable mais plus avancé que celui des Bryophytes. Les spores sont portées par des sacs situés sous les feuilles et nommés *sporangies*. Tombées à terre, elles évoluent en une structure aplatie nommée *prothalle* qui porte soit les éléments reproducteurs des deux sexes ou d'un seul. À maturité, les éléments mâles émettent des *anthérozoides* uniquement capables de se déplacer dans l'eau. Ils féconderont les éléments femelles pour former un œuf dont la croissance aboutira à une nouvelle plante feuillée.



Figure 5: Les fougères

Annexe 7 : Les lichens

Les Lichens ne représentent pas un groupe naturel d'êtres vivants, car ils sont constitués par la *symbiose* d'une algue et d'un champignon : l'algue assure l'alimentation en carbone de l'organisme grâce à ses *pigments photosynthétiques*; le *mycélium* du champignon fournit un support à l'algue et évite la déshydratation de l'ensemble.

Les Lichens sont formés d'un *thalle* fixé au support, et constitués de couches successives dont une au moins est constituée par des cellules de l'algue. Leur thalle peut ressembler à des amas de granules (thalle lépreux), à une croûte (thalle crustacé), à un petit buisson (thalle fruticuleux).

Certains, dont le *symbionte* qui est une algue bleue (*Cyanophycée*), sont secs et friables ; en présence d'eau, ils gonflent et deviennent gélatineux.

Ces organismes ont une croissance très lente et une importante durée de vie pour certains (plusieurs centaines d'années). Les lichens sont très résistants aux conditions difficiles et c'est pourquoi ils sont souvent les premiers végétaux à coloniser les milieux arides (rochers, troncs d'arbres...).

Nous leur avons récemment trouvé des propriétés anti tumorales et inhibitrices contre le virus HIV. Nous les utilisons en homéopathie, en parfumerie et, artisanalement, comme matières colorantes. Certains, comme le Lichen des rennes (*Cladonia rangifera*), sont consommés par des animaux. Ils constituent d'excellents *bio-indicateurs* et permettent d'évaluer des éléments de natures aussi variés que la chimie ou la stabilité des sols, la quantité de polluants (plomb, fluor, radioéléments...), l'âge des moraines et le degré de pureté de l'atmosphère.



Figure 6: Les lichens

Annexe 8 : Les Euglénophytes et les Euglènes

Les *Euglenophyta* ou Euglénophytes, ou encore Euglénoides constituent une classe de l'embranchement des Euglenozoa des Euglenobionta

Les Euglénophytes sont à la fois des algues brunes et des protozoaires. Certaines espèces ont des plastes, mais ne fabriquent jamais d'amidon, mais une autre forme de réserves glucidiques, le paramylon

Certaines espèces sont apigmentées et se nourrissent de substances organiques dissoutes.



Figure 7: Les Euglénophytes

Les Euglènes, protophyte des eaux stagnantes et polluées, qui donne à celles-ci leur couleur verte. (Les euglènes, bien que chlorophylliennes, se rapprochent des protozoaires par leur flagelle natatoire, leur organe photosensible [stigma], leur aptitude à se nourrir de proies solides et même à perdre leur chlorophylle lorsque la lumière manque.)

Le métabolisme des Euglènes est polyvalent. En présence de lumière, ils sont photoautotrophes, et en absence de lumière ou après la perte de leur chloroplaste, ils deviennent organotrophes et sont en particulier capables de métaboliser le lactate.

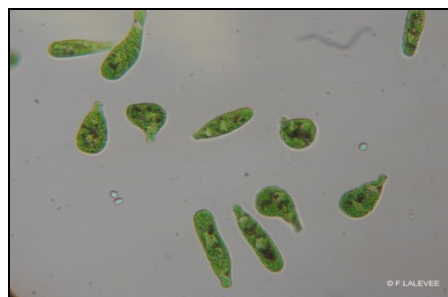


Figure 8: Les Euglènes

Annexe 9 : Les cryptophytes, haptophytes et glaucophytes

La cryptophyte ou cryptomonade, unicellulaire et flagellée, est incolore, rouge ou bien encore bleue. Elles constituent une lignée propre caractérisée par un appareil flagellaire particulier, un ensemble de plaques ceinturant la cellule et une invagination antérieure tapissée d'organes nommés trichocystes ou éjectosomes



Figure 9: Les cryptophytes

Par haptophyte (ou Haptophyta), à plastes colorés en brun-doré par des caroténoïdes, Nous désignons une lignée d'algues caractérisée par un organe particulier: l'haptonème (appendice).



Figure 10: Les haptophytes

Les glaucophytes, petits flagellés d'eau douce aux plantes colorés en bleu par des pigments surnuméraires, appartiennent à la même lignée que les algues rouges et vertes, mais en position basale. Cette lignée (Glaucophyta + Rhodophyta + Chlorobionta, c'est-à-dire le règne des Plantae ou Primoplastobiota) est caractérisée par des chloroplastes à deux membranes.

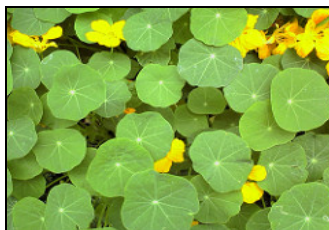


Figure 11: Les glaucophytes

Annexe 10 : Les straménopiles et les spermaphytes

Straménopiles = Hétérochontes ; De stramen (paille) et pilum (poil) ("poils velus")

Les Straménopiles constituent un règne fortement individualisé par des caractères cytologiques (connus depuis les années 1970s), biochimiques et bien sûr par des caractères génétiques.

Le caractère partagé des Straménopiles : les caractères de l'appareil cinétique :

- Un undulipodium (Flagelle) 'moteur' couvert de mastigonèmes ;
- Un undulipodium 'gouvernail' lisse.



Figure 12: Les straménopiles

Les spermaphytes constituent une division du règne végétal, comprenant en son sein toutes les espèces de plantes à graines. En ce sens ces plantes se distinguent des algues, des mousses, des prêles ou des fougères.

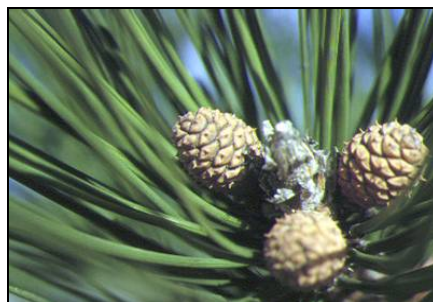


Figure 13: Les spermaphytes

Annexe 11 : Les zoostéracées et les ulvophycées

Zoostéracée : Constitue la famille des plantes monocotylédones vivaces, poussant dans la vase ou le sable des littoraux et formant des prairies sous-marines.



Figure 14: Zoostéracées

Ulvophycée : Représente une classe des algues vertes (qui font partie du vaste ensemble des chlorophytes ou chlorophycées).



Figure 15: Ulvophycées

Annexe 12 : Les éponges, les mollusques nudibranches et les chlorobiontes

Les éponges d'eau douce : Animal marin primitivement considéré comme zoophyte ou plante, fixé, de forme irrégulière et dont le squelette est léger, poreux et spongieux



Figure 16: Les éponges

Les mollusques nudibranches : Un mollusque est un invertébré aquatique possédant une coquille ou un exosquelette, ce sont généralement des mollusques et/ou des crustacés. Au pluriel, c'est un très vaste embranchement d'invertébrés au corps mou et généralement dotés d'une coquille ou vestige de coquille.

Il existe des mollusques planctoniques qui créent une bioluminescence. Ce sont des Gastéropodes de 4 ordres : hétéropodes, ptéropodes thécosomes, ptéropodes gymnosomes et nudibranches. A l'heure actuelle, la bioluminescence n'a été observée que chez 2 genres de nudibranches : *Phylliroe* et *Thethys*.



Figure 17: Les mollusques

Les chlorobiontes : correspondent à un groupe du vivant qui rassemble les algues vertes (un groupe paraphylétique) et les plantes terrestres (les embryophytes, un groupe monophylétique). Ces organismes abritent dans leurs cellules des chloroplastes de couleur verte, car dans la grande majorité des cas, leurs chlorophylles ne sont pas masquées par des pigments d'une autre couleur.



Figure 18: Les chlorobiontes

Annexe 13 : La *Chlorella*, *Isochrysis galbana* et *Tetraselmis suecica*

La chlorelle : La *chlorelle* ou *chlorella* est une micro-algue dont les vertus alimentaires sont exceptionnelles et de plus en plus prisées.

La Chlorelle Pure est une micro-algue naturelle, concentrée en actifs, riche en fibres, en vitamines et en minéraux. Idéale lors des changements de saison et en période de fatigue.

Principales vertus reconnues de la chlorelle :

Détoxifiante ; stimule les défenses immunitaires ; lutte contre l'anémie, la constipation ; aide à faire baisser la pression artérielle et le cholestérol ; favorise la régénération cellulaire ; riches en vitamines et en acides aminés.



Figure 19: Chlorella

Isochrysis galbana : est une micro-algue Il est l'espèce type du genre *Isochrysis* . C'est un aliment exceptionnel pour diverses bivalves larves. et est maintenant largement cultivé pour une utilisation dans le bivalve aquaculture industrie. Cette unicellulaire est étudiée pour sa grande quantité de Fucoxanthine.

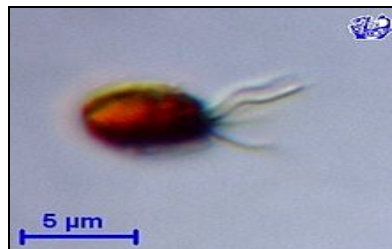


Figure 20: Isochrysis galbana

Tetraselmis suecica : est une marine algue verte . Elle pousse aussi simples, cellules mobiles visibles au microscope optique jusqu'à des concentrations de plus d'un million de cellules par millilitre. Il peut être cultivé comme un Food-stock en aquaculture. Il est un chlorophyte mobile et contient une teneur élevée en lipides.



Figure 21: Tetraselmis suecica

Annexe 14 : *Gracilaria*, Liliopsidaes et *Dictyopteris*

Gracilaria : un genre d'algues rouges de la famille des *Gracilariaceae*.

Le genre de *Gracilaria* est cosmopolite dans la distribution et a été signalé dans les régions arctiques, tempérées et tropicales ; Apparence externe : Thalle surgissant d'un petit crampon discoïde. Les thalles sont généralement cylindriques, déprimés ou en forme de lame, avec des branches latérales. L'aspect extérieur du thalle peut être utilisé pour identifier les espèces.

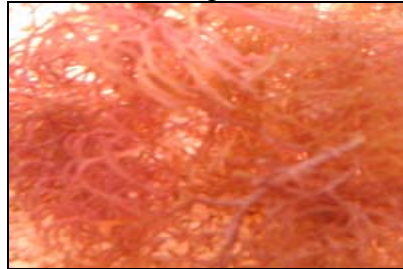


Figure 22: *Gracilaria*

Liliopsidaes : Sont des angiospermes (plantes à fleurs) monocotylédones, comprenant des plantes à graines qui produisent un embryon avec un seul cotylédon et feuilles parallèles à pâte persillée: comprend herbes et des lis et des palmiers et orchidées.



Figure 23: Liliopsidaes

Dictyopteris : description : thalle plat et ressemblant à une feuille, à 300 mm de long et 20 à 30 mm de large : fronde d'olive à brun-jaune, translucide. Marges parfois divisés à la nervure centrale. D'abord avec une odeur désagréable peu de temps après la collecte et dégénérant rapidement. Habitat : Grandes piscines à marée basse peu profonde. Caractéristiques principales : La nervure centrale, forte odeur.



Figure 24: *Dictyopteris*

Annexe 15 : Les chlorarachnyophytes

Si vous trouvez une amibe verte dans votre échantillon d'eau de mer, il peut être un membre des chlorarachniophyta. La couleur verte est causée par les chloroplastes, qui sont logés de façon permanente dans la cellule amibe. Bien que les chloroplastes contiennent les chlorophylles *a* et *b*, chlorarachniophyta sont phylogénétiquement distincts des autres eucaryote *b* contenant de la chlorophylle. Bien qu'ils soient un groupe connu obscur et peu d'algues, chlorarachniophyta ont été un aimant pour les biologistes évolutionnistes intéressées par l'origine et l'évolution des chloroplastes. En effet, ils sont l'un des groupes qui ont acquis leurs chloroplastes via une endosymbiose secondaire, dans lequel un eucaryote non-photosynthétique englouti une algue eucaryote et conservé comme un organe photosynthétique.

Tous les chlorarachnyophytes connus sont unicellulaires et photosynthétiques avec chloroplastes verts. Le groupe est caractérisé par les caractéristiques suivantes:

- Les chloroplastes contiennent chlorophylles *a* et *b*.
- cellules flagellées portent un seul flagelle qui entoure la cellule alors qu'il nage.
- Chaque chloroplaste a une pyrénoloïde projection de premier plan, et est entouré par quatre membranes d'enveloppe.
- Un nucléomorphe est présent dans un espace entre les deuxième et troisième membranes d'enveloppe de chloroplaste chacun.
- cristae mitochondriales sont tubulaires.

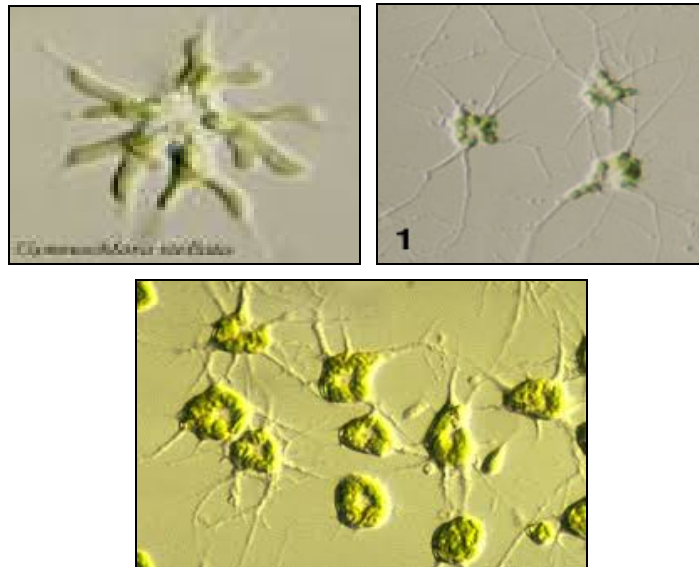


Figure 25: Les chlorarachnyophytes

Annexe 16 : *Asparagopsis armata*

Catégorie : Macro-algue - Algue rouge - Ordre des Bonnemaisoniales

Habitat Naturel : Originare d'Australie où elle est surtout présente sur les côtes sud, on la rencontre également en Tasmanie, Nouvelle-Zélande. Elle a été introduite en Méditerranée et sur quelques côtes atlantiques européennes probablement de façon accidentelle par les bateaux du Gibraltar. Actuellement, elle constitue des peuplements très importants en Méditerranée nord-occidentale. C'est une algue souvent épiphyte d'autres algues. Elle croît près du niveau de l'eau et jusqu'à une dizaine de mètres de profondeur, dans des stations modérément agitées, non perturbées par la pollution

Récolte : Elle est en forme de touffes pyramidales de couleur rose pâle, hautes de 10 à 20 cm de longueur. Certains rameaux sont courts et simples, d'autres ramifiés et longs ; ils peuvent également avoir la forme de harpons.

Aspect Visuel : A la fin du printemps, sur les côtes rocheuses de la région Provence Alpes Côtes d'Azur.

Composants : Elle stocke l'iode à une concentration 100 000 fois plus élevée que dans l'eau de mer. Son extraction a permis la fabrication industrielle de la teinture d'iode jusqu'à la seconde moitié du XXème siècle. Elle présente une grande richesse en minéraux, en vitamines et en acides aminés

Biomasse-Extraits-Propriétés : Algue utilisée pour des extraits aux propriétés stimulantes de la respiration et de la croissance des cellules de la peau (kératinocytes et fibroblastes). Synergie d'action avec *Undaria pinnatifida*

Utilisation : Soins d'Oxygène.

Caractéristiques : Cette algue étend rapidement son aire de répartition car elle produit une substance toxique qui repousse les prédateurs herbivores.



Figure 26: *Asparagopsis armata*

Annexe 17 : *Codium sp*

Codium sp. : Algues de couleur vert foncé, à consistance d'éponge et parfois même de fourrure en été lorsqu'elles se couvrent de poils courts. Les *Codium* présentent, selon les espèces, des formes très diverses : croûtes lisses ou irrégulièrement mamelonnées et cérébelliformes, boules pleines, sphériques ou cordons dressés dichotomes et souples.

La construction anatomique, détectable à la loupe sur une coupe transversale, est faite de l'agglomération d'un faisceau central de siphons parallèles, se terminant latéralement par un cortex d'ampoules ou utricules.

La systématique des espèces est basée, outre sur la morphologie externe du thalle, sur la forme et l'agencement des utricules observables seulement au microscope.

Cycle mono-génétique diplophasique (une seule génération, diploïde, productrice de gamètes).

Mondialement répartis dans les mers tempérées, les *Codium* sont des Algues infralittorales et pérennantes dont la durée de vie demeure mal connue.



Figure 27: *Codium sp*

Annexe 18 : Comprimés et poudres de « Varech »

Noms communs : varech, goémon, chène marin, fucus vésiculeux.

Nom botanique : *Fucus vesiculosus*, famille des fucacées.

Noms anglais : *bladderwrack, rockweed*.

Partie utilisée : Le thalle de la plante.

Habitat et origine : Algue brune présente sur les côtes du nord des océans Atlantique et Pacifique, de la mer du Nord et de la mer Baltique.

Indication : Bien que le varech ait la réputation de faire perdre du poids, les données scientifiques sont très minces. La seule étude sur les humains dont on dispose n'a pas été concluante à ce chapitre.



Figure 28: Comprimés et poudre de "Varech"



Références

- [1] Les algues (phycobiontes), Dictionnaire d'histoire et de géographie de Bouillet (1872) ; Berthelot (1885-1902, édition en 32 vol. avec atlas) ; *l'Atlas Pittoresque de la France*, d'Onésime Reclus (ca. 1914), de *l'Homme et la Terre* d'Elisée Reclus (ca. 1909) ; *Anatomie et physiologie végétales* et *l'Anatomie et physiologie humaines* d'A Pizon (ca. 1920) (Mai 2015).
- [2] Généralités sur les algues, *Le monde secret des herbes et des plantes* (Edition Atlas) ; *Les algues* (Edition Ouest-France) (Paulette Cayral et Joël Cosson) ; *Animaux des légendes bretonnes* (Edition Ouest-France) (François de Beaulieu) (Mai 2015).
- [3] V.J CHAPMAN & D.J CHAPMAN, *Seaweeds and their uses*, CHAPMAN and Hall, 3^e éd 1980
M.GARGAUD et al., *le Soleil la Terre...la vie. La quête des origines*, coll. Bibliothèque scientifique, Belin, Paris, 2009
G.LECOINTRE & H LEGUYADER ? *La classification phylogénétique du vivant*, Belin, 3^e éd, 2006
B DE REVIERS, *Biologie et phylogénie des algues*, t.1, *ibid.*, 2002 (Mai 2015).
- [4] A2D Action Distribution Directe, société créée en 2002 consultable à l'URL : <http://www.a2d.fr/qui-sommes-nous.html> (Mai 2015).
- [5] Les algues, Thallophytes Phycophytes, PDF consultable à l'URL : <http://www.ecofog.gf/IMG/pdf/algues-2.pdf> (Mai 2015).

- [6] Le nouveau Petit Robert
Le site de Doris de la FFESSM
Le Subaqua - Hors Série n°1 (3 ème édition)
Innombrables sites web Les photos récupérées sur le web (Mai 2015).
- [7] ROM E les fiches métiers. A 1415 Equipage de la pêche (Pôle emploi)
2009
Classification Internationale Type des Professions CITP – 08 : 6221
aquaculteurs et ouvrier de l’aquaculture - 6222 pêcheurs de la pêche cô-
tière et en eaux intérieures.
Classification. INSEE des professions PCS2003 : 692 à Marins Pê-
cheurs et ouvriers de l’aquaculture INSEE 2003.
Travaux hyperbares subaquatiques. Fiche de sécurité D9 F02 95. OP-
PBBTP.1995. (Mai 2015).
- [8] Extrait du Document d’objectifs Natura 2000 « Abers – Côte des
légendes » - FR5300017 & « Ilot du Trévors » FR5310054 Tome I –
Rapport de présentation – Version validée en juillet 2013 par les Copil.
(Mai 2015).
- [9] RECOLTE DES ALGUES DE RIVE GUIDE DE BONNES
PRATIQUES RÉALISÉ À L’INITIATIVE DES PROFESSIONNELS
DE LA FILIÈRE BIOLOGIQUE DANS LE CADRE DU PROJET
ALGMARBIO, COORDONNÉ PAR INTER BIO BRETAGNE, mise
à jour Décembre 2013. (Mai 2015).

- [10] Les algues végétales aquatiques, 04/09/2005 Par Claire König, Enseignante Sciences Naturelles. (Mai 2015).
- [11] La filière des macro-algues en France, Projet NETALGAE. Interg IVb rapport WP1 et 2, 2012 (Mai 2015).
- [12] Centre d'Etude et de Valorisation des Algues, basé à Pleubian dans les Côtes d'Armor, est un organisme de recherche privé et un centre technique du réseau ACTIA, labellisé Institut Technique Agro-Industriel (ITAI) par le Ministère de l'Agriculture et de la Pêche. La culture en pleine eau Jennifer Champenois 02/05/2011 15:32 (Mai 2015).
- [13] Echlorial, chlorella ultra pure cultivée sous tube de verres, PREUVES SCIENTIFIQUES, SCIENCES ET ACTUALITES, Anne Ghesquiere (Mai 2015).
- [14] http://mio.pytheas.univ-amu.fr/IMG/pdf/20131022_02_presa_CEA.pdf
<http://azur-naturel.fr/la-spiruline/culture-recole-et-sechage-de-la-spiruline/>
<http://flottweg.com/fr/applications/graisse-et-huile-biocarburants/algues/> (Mai2015)

- [15] MAGUIRE J. 2015. An overview of the European algal industry and guide to best practice. NETALGAE. PowerPoint presentation - Seagriculture symposium. Cherbourg.
- Initiative Bio Bretagne (IBB), 2012. La Bretagne à la pointe de la filière des Algues marines biologiques. Fiche Filière.
- Centre d'Étude et de Valorisation des Algues (CEVA). 2015. Marché et produits - Connaître le marché des algues et les débouchés. Formation continue.
- MESNILDREY L., LESUEUR M., FRANGOUEDES K., JACOB C., SPINEC F., FOLLIARD G., PIEN S., REBOURS C., MELAND M., GALLASTEGI I., INUNZIAGA URIZARBARRENA A., MARQUES A., ATACK T., DUNNINGHAM J., MAGUIRE J., ABREU H., WALSH M. 2012. Présentation de la filière des macro-algues par pays : Norvège, France, Royaume-Uni, Espagne, Irlande, Portugal. Rapport d'étude. NETALGAE—Interreg IVb. 8 p.
- IDEALG ; FAO FishStat. Productions halieutique et aquacole mondiales. (31 Mars 2016).
- [16] Economie de la mer, Algues. La Bretagne, un vaste champ à cultiver, Jean-Laurent BRAS, Mardi 02 décembre 2014. (Mai 2015).

- [17] Bouchaud L., Foubert J., Leblay M., Menager Y., Metz S. (2012). Etude de marché et d'opportunité de l'algue alimentaire en France, en Europe et à l'international. In : Comité d'Orientation de Breizh'alg, Rennes, 09 juillet 2012. Boude J.-P., Erwan C., Gouin S. (2005). Label qualité et écolabel dans la pêche artisanale. Enjeux économiques pour le pêcheur. Externalité sur l'exploitation de la ressource. Programme Valpêche. Rapport final. 227 p. Chan J. C.-C., Cheung P. C.-K., Ang P. O. (1997). Comparative studies on the effect of three drying methods on the nutritional composition of seaweed *Sargassum hemiphyllum* (Turn.) C. Ag. *J. Agric. Food Chem.*, 45 (8), pp. 3056-3059. Riffier P. (2001). La récolte à pied des algues, analyse économique. 65 p. Sánchez-Machado D.I., López-Cervantes J., López-Hernández J., Paseiro-Losada P. (2004). Fatty acids, total lipid, protein and ash contents of processed edible seaweeds. *Food Chemistry*, 85 (3), pp. 439-444. Wong K., Cheung P. C. (2001). Influence of drying treatment on three *Sargassum* species. *Journal of Applied Phycology*, 13, pp. 43-50 (Mai 2015)

- [18] N. ElMtili, F.Z. Fakihi Kachkach et M. El Harchi
Laboratoire de Biologie et Santé, Faculté des Sciences, Université Abdelmalek Essaadi, Tétouan.
Adriano J.D. (2011). Funding failure gifts seaweed harvest to Philippine rebels », in Asia Times Online (Bangkok, Hong Kong) du 14 avril 2011,
Asensi A., Argall E., Marie D., Billot C., Dion P. et Kloareg B. (2001). Clonal propagation of *Laminaria digitata* sporophytes (Phaeophyceae) through a diploid cell-filament suspension. *J. Phycol.*, 37: 1-7.
FAO, (2010). FAO annuaire. Statistiques des pêches et de l'aquaculture 2010
FAO, (2012). FAO annuaire. Statistiques des pêches et de l'aquaculture 2012.
Les algues marines: nouvelle potentialité économique pour le Maroc. Quelle stratégie biotechnologique ? (PDF Download Available). (Mai 2015)
- [19] Thèse de Doctorat par Fabrice Cuzin ; Espèce remarquable de la flore du Maroc ; Faune aquatique continentale, Faune marine. (Mai 2015).
- [20] El Jadida : L'algue rouge, un trafic violent Par | Edition N° :2099 Le 01/09/2005, (Mai 2015).

- [21] Les algues au Maroc, consultable à l'URL : http://www.eamf.eu/Maroc/APM/Algues/Algues_algues_maroc.pdf
(Mai 2015).
- [22] L'algue rouge agarophyte *Gelidium sesquipedale* ou « rbiâa » de la côte de DOUKKALA. POUR UNE EXPLOITATION RATIONNELLE ET DURABLE DE LA RESSOURCE. Mardi 5 avril 2011, Pr Brahim SABOUR
Algologie – Toxicologie Aquatique
Faculté des Sciences El Jadida (Mai 2015).
- [23] Archive de documents de la FAO (Food and Agriculture Organization OF the United Nations), L'exploitation des algues rouges EUCHEMA dans la région de TOLIARA : Aspect socio-économique et perspectives
(Mai 2015).
- [24] Thèse de Doctorat, spécialité chimie, Etude structurale d polysaccharides pariétaux de l'algue rouge *Asparagopsis armata* (Bonnemaisoniales), par Sandrine GARON-LARDIERE (Juin 2015).
- [25] *Extrait du livre de Yolande Buyse "Forme et Jeunesse à tout âge par l'alimentation" (Juin 2015)*

- [26] Martini Marie-Claude, Seiller Monique (2006). Actifs d'origine marine. In: Actifs et additifs en cosmétologie 3ème édition. Paris, Editions Tec & Doc Cachan, Editions Médicales internationales, 280-282
- Le dossier noir des énergies vertes (mars 2008). Science et Vie 1086
 - E.W. Becker (1993). Microalgae : Biotechnology and microbiology, Cambridge University Press, Cambridge, 180-183
 - T. Lebeau et J.-M. Robert (2003). Diatom cultivation and biotechnologically relevant products. Part II: Current and putative products, Applied Microbiology Technology 60, 624-632 (Juin 2015)
- [27] Les algues miraculeuses de la cosmétique, Alcimed (Juin 2015)
- [28] Encyclopédie du développement durable, Encyclo Ecolo, Conso Globe, fondateur Jean-Marie, article Algues et cosmétique. (Juin 2015).
- [29] Poster préparé par FABIENNE GOULARD, enseignant chercheur à la Station Marine de Wimereux, Département de l'Université de Lille 1, <http://www.univ-lille1.fr/sm-wimereux> (Juin 2015)
- [30] «*Thalado Le Comptoir des Algues*»
Depuis 1985, cosmétiques marins, masque régénérant, spiruline et laminaire. (Juin 2015)
- [31] Ces algues qui lissent l'apparence des rides, ANTI-AGING NEWS. (Juin 2015)

- [32] Article, savon d'algues de mer anti cellulite, Bazar Suzanne, consultable à l'URL : <http://www.bazar-suzanne.com/savon/284-savon-d-algues-de-mer-savon-cellulite.html> (Juin 2015)
- [33] Article, l'incontournable algue, shampoing, les cuisiniers du cheveu consultable à l'URL : <http://www.marcapar.com/index.php?page=produits&id=16> (Juin 201)
- [34] Savoir-faire anciens et exploitation des Algues en Bretagne Rapport (30 octobre 2006),
Ribier J., Godineau J.-C., 1984-Les algues, Flammarion, 281p. Pérez R.,
-Ces algues qui nous entourent, Ifremer, 266p. (PDF) L.Kelly et al.,2001
-A guide to the seaweed industry, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Fisheries Technical Paper n°441, 105p. Col., 2001
-Changement climatiques ou surexploitation, gros temps sur les algues brunes, Les nouvelles de l'Ifremer, n°25, pp.1-1 (pdf) (Juin 2015)
- [35] Acteurs du développement durable, environnement, pollution, les micro-algues, directeur de la rédaction de Acteur Durable : Yvan Todoroff (Juin 2015).

- [36] Les cultures médicinales canadiennes, Ernest small, chercheur scientifique principal et Paul M Catlin, chercheur scientifique, centre de recherche de l'Est sur les céréales et oléagineux, Programme des ressources biologiques, Direction générale de la recherche Agriculture et Agroalimentaire Canada (Juin 2015).
- [37] Article : Production des algues dans votre assiette, Directeur Jacques Rivet
Rédacteur en Chef, Rédaction et Administration, Port Louis, Ile Maurice - BP N° 7 (Juin 2015).
- [38] L'algue un ingrédient miracle aux multiples usages, article consultable à l'URL : <http://www.marcelgreen.com/article/l-algue-un-ingredient-miracle-aux-multiples-usages-2121/3> (Juin 2015)
- [39] 03/05/2011 à 07:46 · Filed under Amérique du Nord,Articles, Usages médicinaux des végétaux and tagged:algue, Callophycus serratus, Georgia Institute of Technology, Julia Kubanek, paludisme, pharmacopée,plante médicinale. (Juin 2015)
- [40] Patrick D. Paquette, microbiologiste, M.Sc.(c), Mcb.A., RMCCM Consultant en microbiologie & prévention des infections, article le rôle des algues dans notre vie quotidienne. (Juin 2015)
- [41] Exposé sur les algues Vanboquestaels Thierry (Juin 2015)

- [42] Les algues un trésor de bienfaits pour la santé, AUTEUR : Alix Lefief.
(Juin 2015)
- [43] Documentations fournisseurs
- Fujimura T, Tsukahara K, Moriwaki S, Kitahara T, Sano T, Takema Y. Treatment of human skin with an extract of *Fucus vesiculosus* changes its thickness and mechanical properties. *J Cosmet Sci.* 2002 Jan-Feb;53(1):1-9
- Morel J.-M., Perrey F., Lejeune R., Goetz P. *Fucus vesiculosus* L. Monographie médicalisée. *Phytothérapie*, Vol 3, Number 5 / octobre 2005, 218-221.
- Pilar Rupérez, Oussama Ahrazem, J. Antonio Leal. Potential Antioxidant Capacity of Sulfated Polysaccharides from the Edible Marine Brown Seaweed *Fucus vesiculosus*. *J. Agric. Food Chem.*, 2002, 50 (4), pp 840–845
- "Les Plantes qui nous soignent : Traditions et thérapeutique "de Jacques Fleurentin et Jean-Claude Hayon (Juin 2015)

- [44] Charpy L, Langlade MJ, Alliod R. La Spiruline peut-elle être un atout pour la santé et le développement en Afrique? Août 2008 Institut de Recherche pour le Développement UR 167 (CYROCO). [Consulté le 17 mars 2011] www.com.univ-mrs.fr
- Chauveau L. Spiruline - La bonne algue verte, L'express, 19 avril 2004. [Consulté le 17 mars 2011] www.lexpress.fr
- National Library of Medicine (Ed). PubMed, *NCBI*. [Consulté le 17 mars 2011]. www.ncbi.nlm.nih.gov
- Intergovernmental Institution for the use of Micro-algae Spirulina against Malnutrition (IIMSAM) [Consulté le 17 mars 2011] www.iimsam.org
- Intergovernmental Institution for the use of Micro-algae Spirulina against Malnutrition (IIMSAM) - Benefits of Spirulina. [Consulté le 17 mars 2011] www.iimsam.org/benefits
- Natural Standard (Ed). Herbs & Supplements - Spirulina, *Nature Medicine Quality Standard*. [Consulté le 17 mars 2011]. www.naturalstandard.com
- Ripley D. Fox. *Pioneer in Production of Spirulina for Combatting Malnutrition*. [Consulté le 17 mars 2011]. www.spirulinasource.com
- The Natural Pharmacist (Ed). Natural Products Encyclopedia, Herbs & Supplements - Spirulina, *ConsumerLab.com*. [Consulté le 17 mars 2011]. www.consumerlab.com
- Tyler Varro E, Foster S. *Tyler's Honest Herbal*, Haworth Press, États-Unis, 1999. (Janvier 2016)

- [45] Conseil européen de l'information sur l'alimentation (Eufic)
Centre d'étude et de valorisation des algues (Ceva) (Janvier 2016)
- [46] Article : les algues, mon nouvel allié santé, les vertus nutritionnelles
des algues, consultable à l'URL :
[http://www.femmeactuelle.fr/sante/alimentation-equilibree/bienfaits-
algues-01195](http://www.femmeactuelle.fr/sante/alimentation-equilibree/bienfaits-
algues-01195) (Janvier 2016)
- [47] Projet DIEC de la biologie à l'Institut Universitaire Jean-François
Champollion. (Janvier 2016)
- [48] Livre : Les secrets des algues, Véronique Leclerc, Jean-Yves Floc'h,
Edition Quae

Serment de Galien

Je jure en présence des maîtres de cette faculté :

- *D'honorer ceux qui m'ont instruit dans les préceptes de mon art et de leur témoigner ma reconnaissance en restant fidèle à leur enseignement.*
- *D'exercer ma profession avec conscience, dans l'intérêt de la santé public, sans jamais oublier ma responsabilité et mes devoirs envers le malade et sa dignité humain.*
- *D'être fidèle dans l'exercice de la pharmacie à la législation en vigueur, aux règles de l'honneur, de la probité et du désintéressement.*
- *De ne dévoiler à personne les secrets qui m'auraient été confiés ou dont j'aurais eu connaissance dans l'exercice de ma profession, de ne jamais consentir à utiliser mes connaissances et mon état pour corrompre les mœurs et favoriser les actes criminels.*
- *Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses, que je sois méprisé de mes confrères si je manquais à mes engagements.*

جامعة محمد الخامس
كلية الطب والصيدلة
- الرباط -

قسم الصيدلي

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
وَأَحْسِنُ بِاللَّهِ وَالْعَظِيمِ

- ◀ أن أراقب الله في مهنتي
- ◀ أن أبجل أساتذتي الذين تعلمت على أيديهم مبادئ مهنتي وأعترف لهم بالجميل وأبقى دوما وفيا لتعاليمهم.
- ◀ أن أزاول مهنتي بوازع من ضميري لما فيه صالح الصحة العمومية، وأن لا أقصر أبدا في مسؤوليتي وواجباتي تجاه المريض وكرامته الإنسانية.
- ◀ أن ألتزم أثناء ممارستي للصيدلة بالقوانين المعمول بها وبأداب السلوك والشرف، وكذا بالاستقامة والترفع.
- ◀ أن لا أفشي الأسرار التي قد تعهد إلى أو التي قد أطلع عليها أثناء القيام بمهامي، وأن لا أوافق على استعمال معلوماتي لإفساد الأخلاق أو تشجيع الأعمال الإجرامية.
- ◀ لأحضى بتقدير الناس إن أنا تقيدت بعهودي، أو أحتقر من طرف زملائي إن أنا لم أف بالتزاماتي.

"والله على ما أقول شهيد"

جامعة محمد الخامس – الرباط
كلية الطب والصيدلة بالرباط

أطروحة رقم: 69

سنة : 2016

الطحالب، الاستخدامات وفوائدهم على الصحة

أطروحة

قدمت ونوقشت علانية يوم :

من طرف

الآنسة: راوية ماموني

المزدادة في: 20 فبراير 1991 بالمحمدية

لنيل شهادة الدكتوراه في الصيدلة

الكلمات الأساسية: الطحالب – زراعة الطحالب – الاستخدامات – التحويل والصحة.

تحت إشراف اللجنة المكونة من الأساتذة

رئيس

السيد: ميمون زهدي

أستاذ في علم الأحياء الدقيقة

مشرف

السيد: عبد القادر لعتيريس

أستاذ في علم الصيدلة الغالبية

السيدة: سكيمة الحمزاوي

أعضاء

أستاذة في علم الأحياء الدقيقة

السيدة: سعيدة طلال

أستاذة في علم الكيمياء الإحيائية