

Analyse de la croissance et de la reproduction de la phéophycée *Fucus spiralis* (Phaeophyta, Fucaceae) sur la côte atlantique marocaine

Noureddine REZZOUM¹, Aziza MOURADI^{1*}, Thierry GIVERNAUD², Nadia CHIADMI¹
et Laïla BENNASSER¹

¹Laboratoire de Biochimie et Biotechnologies marines, Département de Biologie, Université Ibn Tofaïl, Faculté des Sciences 14000, Kénitra, Maroc

²Société STECOF. 5, lot. Johara, Bir Rami Est, 14000 Kénitra, Maroc

* Correspondance, courriel : mouradiaziza@gmail.com

Résumé

La valorisation d'une phéophycée, *Fucus spiralis*, abondante sur le littoral atlantique marocain, impose l'organisation de son éventuelle exploitation qui reste tributaire de la connaissance de sa biologie. C'est dans ce but, qu'un suivi mensuel de la croissance et de la reproduction de l'algue dans son milieu naturel, a été effectué pendant un cycle bisannuel au niveau du site de Sidi Bouzid situé sur le littoral atlantique marocain au sud de la ville d'El Jadida. Les paramètres de croissance étudiés (Poids frais, Poids sec, longueur du thalle, régénération) ont montré des valeurs maximales en période estivale et minimales en période hivernale. L'analyse du seul paramètre de reproduction par le biais du nombre de réceptacles a montré les plus importantes valeurs en début d'automne confirmant que l'activité de reproduction est saisonnière tout comme celle de la croissance.

L'analyse en composantes principales (ACP), pratiquée sur les données recueillies, a révélé l'influence marquée des facteurs environnementaux (température, salinité, nitrates, phosphates et photopériode) sur l'évolution de la croissance et de la reproduction selon des gradients de saisonnalité et de minéralisation.

Mots-clés : *Fucus spiralis*, Croissance, Facteurs environnementaux, Maroc.

Abstract

Analysis of growth and reproduction of the Phaeophyceae *Fucus spiralis* (Phaeophyta, Fucaceae) on the Moroccan Atlantic coast

The development of a Phaeophyceae, *Fucus spiralis* Linné 1753, abundant on the Atlantic coast of Morocco, requires the organization to its possible exploitation remains dependent on knowledge of its biology. For this purpose, a monthly monitoring in situ growth and reproduction of algae, was done during a two-year cycle at the site of Sidi Bouzid located on the Moroccan Atlantic coast south of the city of El Jadida.

Growth parameters studied (fresh weight, dry weight, height, regeneration) showed maximum values in summer and minimum in winter. Analysis of the single parameter of reproduction through the number of receptacles found the most important values 14,2 in early autumn confirming a seasonal reproductive activity. The influence of environmental factors (temperature, salinity, nitrates, phosphates and photoperiod) on the evolution of growth and reproduction studied through principal component analysis (PCA). It showed a pronounced seasonal variation for the 4 parameters of growth and reproduction.

Keywords : *Fucus spiralis*, Growth, Reproduction, Environmental factors, Morocco.

1. Introduction

Le Maroc dispose d'une façade atlantique d'environ 3500 km qui se caractérise par une biomasse algale abondante et diversifiée [1,2]. Cependant, peu de travaux ont été effectués sur cette richesse naturelle dont la valorisation reste encore timide et concerne seulement quelques espèces d'algues rouges appartenant aux genres *Gelidium* et *Gracilaria*. L'exploitation de ces agarophytes constitue une activité industrielle intéressante et place le Maroc parmi les premiers producteurs d'agar dans le monde. D'autres espèces de carraghénophytes sont exportées directement à l'état brut [3].

A côté de ces algues, il existe des ceintures importantes d'algues brunes dominées par le genre *Fucus* et *Laminaria* non encore exploitées, à l'exception de quelques rares utilisations locales en thalassothérapie et cosmétique. La plus grande partie des récoltes anarchiques du *Fucus*, est exportée à l'état brut pour des marchés étrangers. Pour la valorisation de cette phéophycée, il serait judicieux de structurer son exploitation et de développer son aquaculture. Actions dont la réalisation ne serait possible qu'à la suite d'une étude globale de sa biologie.

Fucus est un véritable cocktail d'éléments vitaux, compte tenu de sa composition en oligo-éléments (chrome, cuivre, zinc, sélénium, iode, etc.) et en vitamines (C, B₁, B₂, B₆, B₁₂ et acide folique), riche en protéines végétales assimilables et très pauvre en calories et en lipides [4]. Le développement croissant des produits antistress, antifatigue et minceurs engendre l'augmentation de la demande d'espèce d'algues présentant ces vertus. C'est dans cette optique, que nous jugeons important de fructifier et structurer l'exploitation de cette ressource naturelle pour répondre à cette demande.

Par ailleurs, des travaux de recherche ont montré que chez la plupart des espèces d'algues, la croissance est liée aux variations saisonnières, [5-14], et demeure influencée par les facteurs physico-chimiques du milieu (lumière, température, pH, teneurs en sels nutritifs [14-20]).

Le présent travail a pour objectif d'étudier la dynamique saisonnière de la croissance et de la reproduction de l'espèce *Fucus spiralis* en milieu naturel et de mettre en évidence l'influence des facteurs physico-chimiques du milieu sur le déroulement de son cycle de développement durant deux années, afin de déterminer les périodes de sa récolte et de cerner les conditions favorables pour son éventuelle aquaculture.

2. Matériel et méthodes

2.1. Site d'étude

Le site de Sidi Bouzid est situé sur le littoral atlantique marocain à 5 km au sud de la ville d'El Jadida entre les latitudes 32°15' et 33°15' et les longitudes Ouest 7° 55' et 9°15'. Le choix du site est justifié par sa facilité d'accès, l'abondance de l'espèce à ce niveau, sa situation loin de toute activité industrielle génératrice de pollution et par le nombre peu élevé d'habitants permanents.

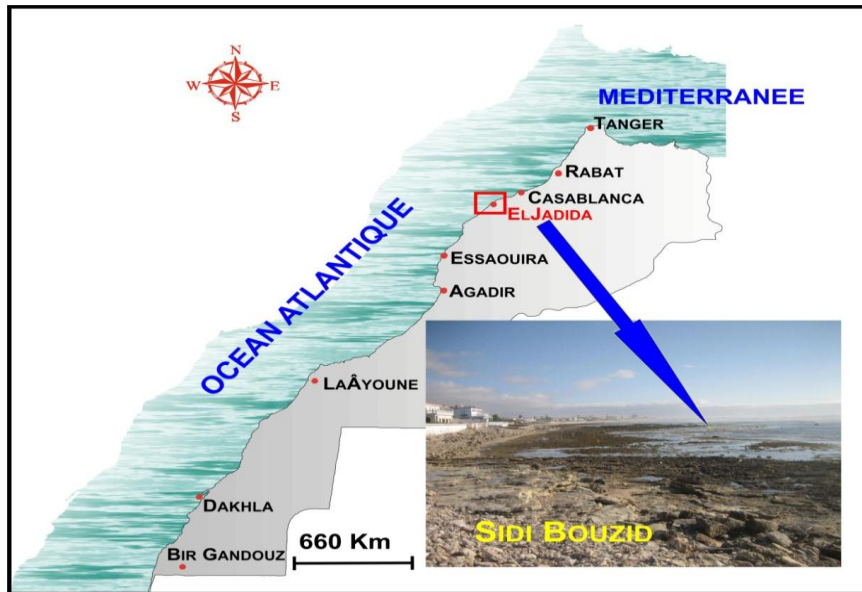


Figure 1 : Position géographique du site de récolte (Sidi Bouzid-El Jadida).

2-2. Matériel végétal

Fucus spiralis est une algue macrobenthique, monoïque, qui occupe le médiolittoral supérieur et le supralittoral des côtes rocheuses où elle forme une ceinture assez étroite. Elle se trouve à 70% du temps émergée et n'occupe jamais les cuvettes. Le thalle peut atteindre jusqu'à 40 cm de long ; il est fixé par un disque que surmonte un très court stipe cylindrique ou aplati qui s'élargit en une fronde formée de lanières larges de 1,5 à 2 cm, coriaces, à nervure médiane bien visible, à marge entière, fortement ondulées ou qui s'enroulent plus ou moins hélicoïdalement autour de son axe longitudinal.

Les parties reproductrices des fucales correspondent à des sacs renflés appelés réceptacles, situés à l'extrémité des frondes chez le genre *Fucus*. Sous la surface des réceptacles, de nombreux conceptacles renfermant les gamètes, s'ouvrent sur l'extérieur par un petit orifice. A maturité, les réceptacles présentent une surface externe d'aspect granuleux [21]. Les sexes sont reconnaissables à la coloration de l'exsudat des réceptacles. Comme toutes les fucales, l'algue se caractérise par un cycle de vie monogénétique diplophasique, où la phase gamétophytique se résume aux gamètes, et un mode de reproduction ogamique.

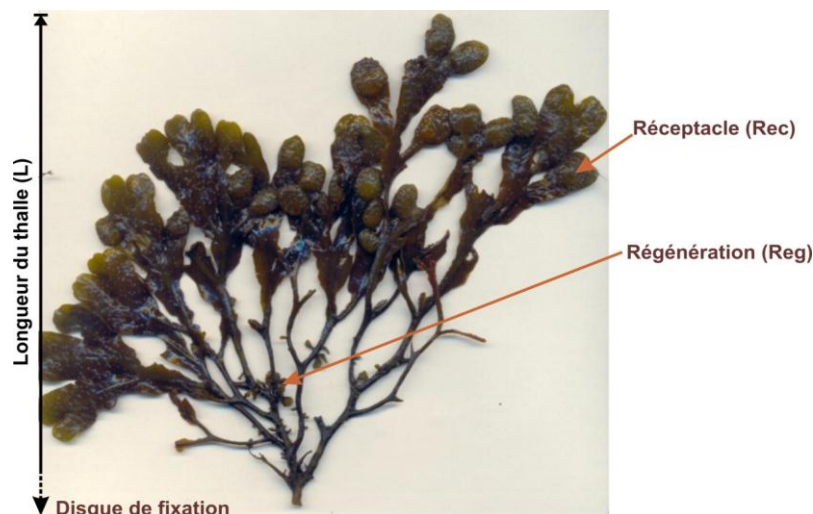


Figure 2 : Morphologie externe de *Fucus spiralis* récolté à Sidi Bouzid-El Jadida.

2-3. Analyse de l'eau de mer

L'eau de mer est prélevée mensuellement durant une année (2005), à marée basse, au même endroit.

La température ($^{\circ}\text{C}$) de l'eau a été mesurée, *in situ*, à l'aide d'un thermomètre à mercure gradué au 1/10. La salinité ($S\text{ ‰}$) est déterminée à l'aide d'un réfractomètre portatif. Une courbe d'étalonnage permet d'obtenir directement la salinité en fonction de l'indice de réfraction et de la température.

L'analyse des nitrates (NO_3^- en mg L^{-1}) est réalisée selon la voie chimique, où ils sont réduits quantitativement en nitrites à l'aide du sulfate d'hydrazine [22]. Les nitrites ainsi formés sont dosés par la méthode classique au sulfanilamide / dichlorohydrate décrite par [23].

Les phosphates (PO_4^{3-} en $\mu\text{ L}^{-1}$) sont dosés par la méthode de [24], qui est une extension de celle décrite par [25].

2-4. Suivi de la croissance et de la reproduction

L'échantillonnage mensuel (sur deux cycles annuels) porte sur l'ensemble des thalles contenu dans un quadra de 50cm de coté, lancé au hasard au milieu du champ de *F. spiralis* à trois reprises. Les analyses sont effectuées chaque mois sur le contenu des trois quadras. Quatre paramètres de croissance sont mesurés : la longueur du thalle (L), le poids total du contenu du quadra en poids frais (PF) et poids sec (PS), le nombre de régénérations (Reg) par thalle et le nombre de réceptacles (Rec) par thalle.

2-5. Analyses statistiques

2-5-1. Analyse de variance et comparaison des moyennes

La variabilité des paramètres de croissance (L, PF, PS, Reg) ainsi que celle du paramètre de reproduction (Rec) est étudiée par une analyse de variance à un seul facteur (mois) étant donné que l'algue n'est représentée que par une seule génération, afin d'apprécier les différences entre les mois de l'année. Cette analyse est effectuée par la procédure ANOVA du logiciel SAS [26]. La comparaison multiple des moyennes pour chaque paramètre ainsi que leur classement, est réalisée par le test de Duncan chaque fois que l'analyse de variance révèle des différences significatives [27].

2-5-2. Analyse en composantes principales

Dans le but d'estimer l'effet des facteurs de l'environnement sur le développement de l'algue en milieu naturel, une analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée sur une matrice de données composée de près de 200 relevés, portant sur les variables de croissance et de reproduction pendant deux années et celles physico-chimiques du milieu pendant une année.

3. Résultats

3-1. Analyse physicochimique de l'eau de mer

3-1-1. La température

Les variations mensuelles de ce paramètre montrent des valeurs maximales en été avec 23°C au mois d'août, minimales en hiver avec 15°C au mois de février et intermédiaires en automne et au printemps avec près de 20°C . Ces températures reflètent bien le climat méditerranéen dont jouit le Maroc.

3-1-2. La salinité

Elle varie entre 28,8 et 36,9‰ au cours de l'année avec des minima en période pluvieuse et hivernale et des maxima en période estivale.

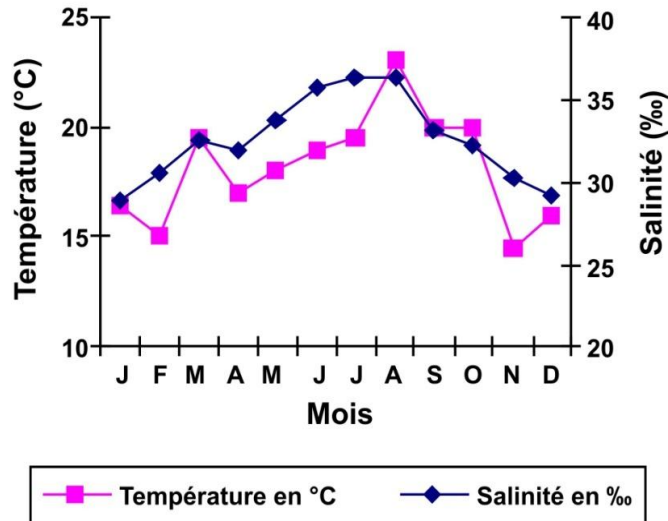


Figure 3 : Variations mensuelles de la température et de la salinité de l'eau de mer au niveau de Sidi Bouzid durant l'année 2005.

3-1-3. Les nitrates

Les taux de nitrates varient entre un minimum de 7,3 mg L⁻¹ enregistré en Mai et un maximum de 13,6 mg L⁻¹ en juillet.

3-1-4. Les phosphates

Les phosphates présentent des valeurs minimales durant l'été (11,7 µg L⁻¹) et maximales durant l'hiver (152,9 µg L⁻¹).

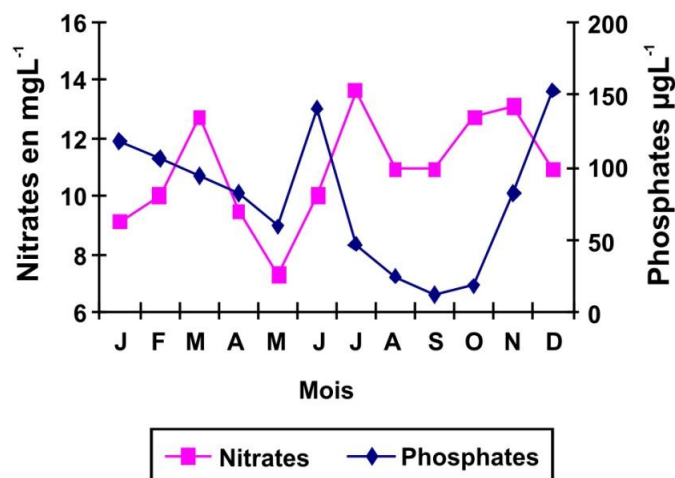


Figure 4 : Variations mensuelles de la teneur de l'eau de mer en nitrates (mg L⁻¹) et phosphates (µg L⁻¹) au niveau de Sidi Bouzid durant l'année 2005.

3-2. Variations moyennes des paramètres de croissance et de reproduction

L'analyse de la variation des moyennes des différents paramètres de croissance et de reproduction de la phéophycée *Fucus spiralis* au niveau de Sidi Bouzid va permettre de repérer les périodes les plus productives en tissus et donc les plus rentables pour sa récolte.

3-2-1. La longueur des thalles

La taille moyenne des thalles connaît une croissance progressive en longueur pendant la période s'étalant de janvier à mai. Entre juillet et novembre, la croissance atteint son maximum et se stabilise puis diminue graduellement pour regagner les plus faibles valeurs en période hivernale (janvier). La même tendance se reproduit durant la deuxième année et confirme une saisonnalité de la croissance de l'algue. La taille moyenne varie entre un minimum de 10 cm en janvier et un maximum de 22,8 cm en juillet 2005.

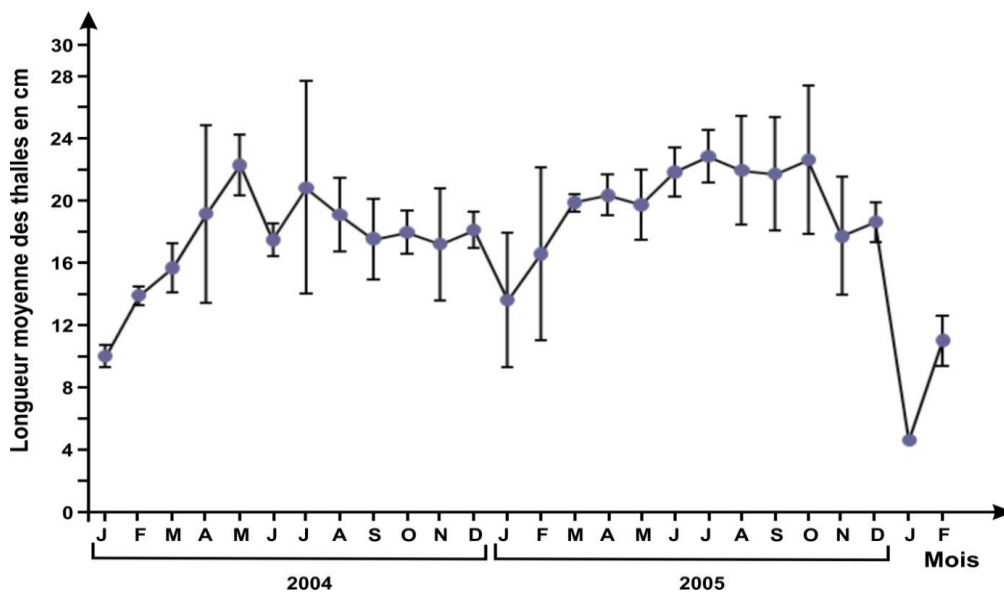


Figure 5 : Evolution de la longueur moyenne des thalles (cm) de *Fucus spiralis* récolté au niveau de Sidi Bouzid (2004-2005).

3-2-2. La biomasse fraîche

Le suivi mensuel des valeurs moyennes de la biomasse fraîche de *Fucus spiralis* pendant 26 mois (Figure 6) montre une variation saisonnière importante avec deux périodes de croissance pondérale durant l'année 2004 et 2005. La première s'étale du mois de février au mois d'avril et la seconde du mois de juillet au mois de septembre. C'est pendant cette dernière période, que l'activation de la croissance en biomasse fraîche est importante (6 Kg.m^{-2}), suivie d'une diminution progressive jusqu'à rejoindre de nouveau les valeurs les plus faibles au milieu de l'hiver (2 Kg.m^{-2}).

3-2-3. La biomasse sèche

La courbe d'évolution de la biomasse sèche présente presque la même allure que celle de la biomasse fraîche, avec un maximum d'environ $1,7 \text{ Mg.m}^{-2}$ et un minimum d'environ ($0,6 \text{ Kg.m}^{-2}$ en janvier 2005).

3-2-4. Les régénérations

L'évolution du nombre moyen de régénération par thalle de *Fucus spiralis* relate une période d'activation qui s'étend sur la saison estivale et automnale suivi d'une chute qui se poursuit pendant l'hiver où les valeurs les plus basses sont enregistrées. Les régénérations sont minimales (0,5 Reg./thalle) en janvier et maximales (6 Reg./thalle) en septembre, cette variation est plus prononcée en 2005.

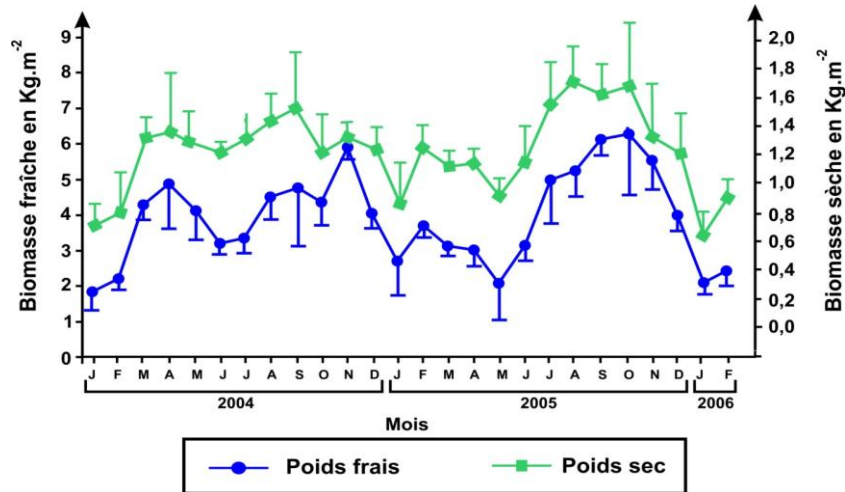


Figure 6 : Évolution de la biomasse fraîche et de la biomasse sèche (kg.m²) de *Fucus spiralis* récoltée au niveau de Sidi Bouzid (2004-2006).

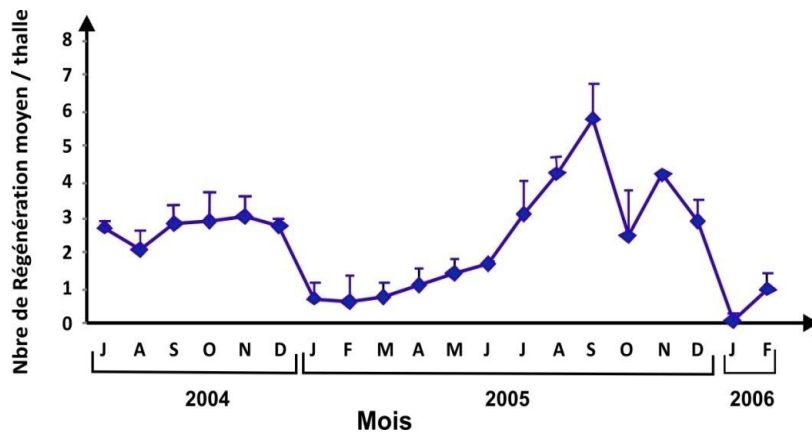


Figure 7 : Évolution du nombre moyen de régénérations par thalle de *Fucus spiralis* récolté au niveau de Sidi Bouzid (2004-2006).

3-2-5. Les réceptacles

L'évolution du nombre moyen de réceptacles chez la phéophycée pendant 20 mois a montré que la période annuelle d'activité des réceptacles commence à partir du mois de juin et se poursuit jusqu'au mois de septembre où sont observés des pics avec 14,2 et 13,2 réceptacles par thalle respectivement en 2004 et 2005 et à partir des quels le nombre chute brutalement pour se stabiliser depuis la fin de l'automne jusqu'à la fin du printemps.

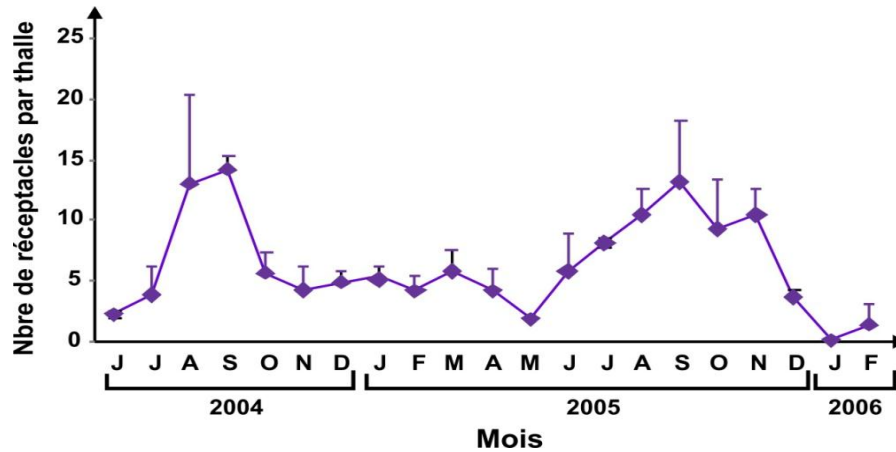


Figure 8 : *volution du nombre moyen de réceptacles par thalle de Fucus spiralis récolté au niveau de Sidi Bouzid (2004- 2006).*

3.3. Analyse statistique

3-3-1. L'analyse de variance

L'analyse de variance des paramètres de croissance et de reproduction révèle des effets hautement significatifs au cours de l'année. La comparaison des moyennes par le test de Duncan a permis le classement des 12 mois de l'année les uns par rapport aux autres vis-à-vis de chacun de ces paramètres (**Tableau 1**). Ainsi le mois de janvier présente les plus faibles valeurs pour la longueur des thalles, la biomasse fraîche et sèche au cours de l'année 2004. La même tendance a été obtenue pour l'année 2005 excepté pour la biomasse fraîche dont le minimum a été enregistré en mai et se rapproche de la valeur enregistrée en janvier. Les valeurs maximales en revanche, ont été enregistrées pour la longueur des thalles en Mai 2004 et Juillet 2005, pour la biomasse fraîche en novembre 2004 et octobre 2005 et celles de la biomasse sèche en septembre 2004 et août 2005.

Pour le nombre moyen de régénérations et de réceptacles portés par chaque thalle de *Fucus*, leur minimum est enregistré aux mois de février 2005 et de mai 2005 respectivement. Aussi bien pour les régénérations que pour les réceptacles, le maximum a été enregistré en début d'automne (septembre 2005) avec 13,2 réceptacles et 6 régénérations par thalle. Que ça soit pour la reproduction asexuée (régénération) ou sexuée (réceptacle), elle atteint son maximum en début d'automne, bien que les régénérations commence au printemps et le développement des réceptacles en début d'été.

3-3-2. Analyse en composantes principales (ACP)

Afin de mettre en évidence l'effet des facteurs environnementaux sur la dynamique de croissance et de la formation des réceptacles chez *F. spiralis*, à travers une structure spatio-temporelle cohérente, une étude synthétique par analyse en composantes principales a été effectuée sur l'ensemble des données recueillies. L'information synthétisée repose sur la réduction du nombre de caractères et sur la construction simultanée de nouveaux caractères synthétiques. Ces derniers forment les composantes principales par combinaison linéaire des caractères initiaux. L'ACP illustre particulièrement les corrélations entre les variables d'un système.

Tableau 1 : Comparaison des moyennes mensuelles des paramètres de croissance et de reproduction de *F. spiralis* (2004-2006).

Mois	Biomasse fraîche (2004)			Biomasse sèche (2004)			Taille moyenne en cm (2004)			Mois	Réceptacles (2004-2005)			Régénération (2004-2005)		
	X	D.S	Dunc	X	D.S	Dunc	x	D.S	Dunc		x	D.S	Dun	x	DS	Dunc
Jan.	1,85	0,45	D	0,5	0,09	c	10	0,72	d							
Fév.	2,21	0,28	D	0,58	0,11	bc	13,89	0,57	cd							
Mars	4,3	1,07	Abc	1,11	0,18	a	15,67	1,57	bc							
Avril	4,89	0,77	Ab	1,1	0,25	a	19,15	5,71	ab	Juin	2,23	0,28	b			
Mai	4,13	1,77	Bc	1,26	0,47	a	22,29	1,96	a	Juil.	3,8	2,35	b	2,74	0	a
Juin	3,22	0,43	Cd	1,01	0,13	ab	17,48	1,08	abc	Août	13,1	7,32	a	2,1	0,54	a
Juil.	3,34	0,53	Bcd	1,09	0,17	a	20,83	6,83	ab	Sept.	14,2	1,14	a	2,85	0,36	a
Août	4,51	1,59	Abc	1,22	0,52	a	19,09	2,38	abc	Oct.	5,71	1,51	b	2,91	1,17	a
Sept.	3,22	1,14	Cd	0,82	0,33	abc	17,54	2,6	abc	Nov.	4,32	1,83	b	3,04	0,4	a
Oct.	4,38	1,28	Abc	1,03	0,3	ab	17,98	1,38	abc	Déc.	4,91	0,83	b	2,75	0,42	a
Nov.	5,88	0,57	A	1,11	0,26	a	17,2	3,58	abc	Janv.	5,42	0,65	b	0,71	0,47	b
Déc.	4,09	0,49	Bc	1,04	0,13	ab	18,11	1,15	abc	Fév.	4,16	1,15	b	0,63	0,72	b
	(2005)			(2005)			(2005)				(2005-2006)			(2005-2006)		
Mois	X	D.S	Dunc	X	D.S	Dunc	x	D.S	Dunc	Mois	x	D.S	Dun	x	DS	Dunc
Jan.	2,72	0,6	Cd	0,66	0,17	d	13,62	4,32	c							
Fév.	3,71	2,05	Bcd	1,04	0,55	bcd	16,56	5,55	bc							
Mars	3,15	0,47	Cd	0,92	0,14	cd	19,88	0,56	ab							
Avril	3,02	0,33	Cd	0,93	0,12	cd	20,34	1,32	ab	Juin	5,78	3,17	cde			
Mai	2,09	0,99	D	0,71	0,29	d	19,73	2,23	ab	Juil.	8,09	0,31	bcd	3,1	0,96	bc
Juin	3,14	1,14	Cd	0,94	0,3	cd	21,84	1,56	ab	Août	10,5	2,08	ab	4,19	0,11	b
Juil.	4,99	0,94	Ab	1,35	0,35	abc	22,83	1,68	a	Sept.	13,2	5,01	a	5,8	0,97	a
Août	5,25	1,06	Ab	1,6	0,3	a	21,94	3,51	ab	Oct.	9,34	3,87	abc	2,47	1,3	c
Sept.	6,1	1,86	A	1,41	0,36	ab	21,71	3,63	ab	Nov.	10,5	2,08	ab	4,19	0,11	b
Oct.	6,3	0,37	Bc	1,07	0,06	bcd	22,62	4,76	a	Déc.	3,65	0,63	def	2,92	0,55	c
Nov.	5,48	0,57	Ab	1,12	0,26	abcd	17,72	3,8	abc	Jan.	0,07	0,01	f	0,08	0,01	d
Déc.	4,05	0,49	Bc	1,01	0,14	bcd	18,63	1,27	abc	Fév.	1,35	1,69	ef	0,99	0,44	d

X : Moyenne ; D.S : déviation standard. (a, b, c, d, e, f) : les mois portant des lettres différentes pour le même paramètre de croissance montrent des différences significatives au seuil de 5 % (comparaison multiple des moyennes par le test de Duncan), *** : données inexistantes.

Seuls les axes factoriels F1 et F2 sont pris en compte pour la description des corrélations entre les variables liés aux structures spatio-temporelles car ils totalisent à eux seuls 85,17 % de l'information à raison d'une inertie de 73,11 et 12,06 respectivement (**Figure 9a**).

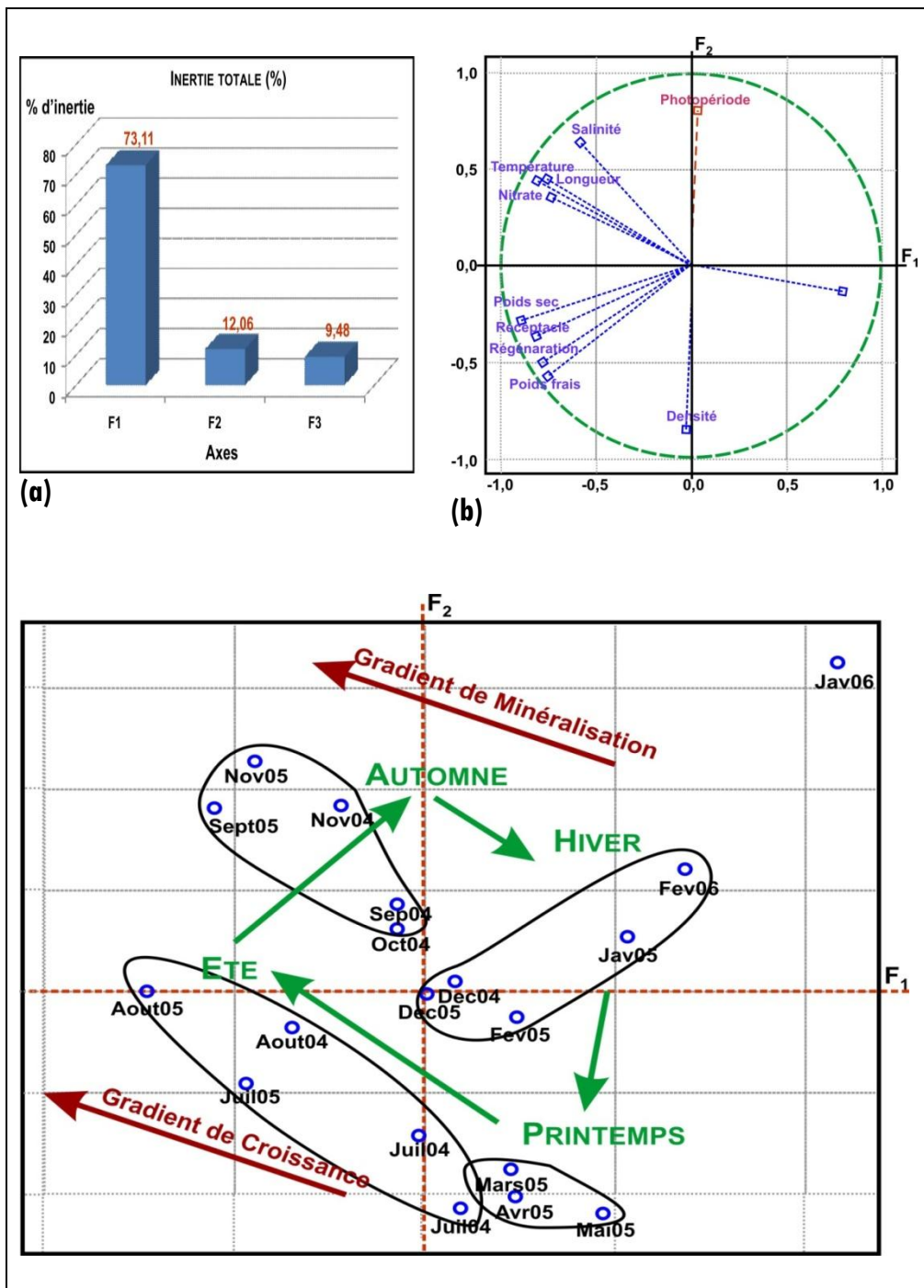


Figure 9 : Représentation graphique dans le plan F1 x F2 de l'ACP.
 a : Répartition de l'inertie entre les axes,
 b : Cercle de corrélation des variables,
 c : Carte factorielle des relevés.

La projection des coordonnées des différentes variables dans le plan F1 x F2, illustrée sur le cercle de corrélation (**Figure 9b**) fait apparaître deux groupes de variables selon leurs affinités aux axes. Ainsi l'axe factoriel F1 a entièrement pris en compte deux groupes de variables : le premier est constitué du poids frais avec une corrélation de (-0,77), du poids sec (-0,90), des réceptacles (-0,82) et des régénérations (-0,78), le second, de la température (-0,80), de la salinité (-0,58), de la taille (0,77) et des nitrates (-0,75), et à l'opposés les phosphates (+0,79). L'axe 2, quant à lui, est déterminé par la densité des algues (-0,85) et la photopériode (+0,80).

La projection des relevés mensuels de *Fucus spiralis* sur la carte factorielle définie par le plan F1 x F2, montre une large répartition des relevés, où nous avons pu en dégager 4 groupes correspondant aux 4 saisons de l'année, décrivant un gradient de croissance et de minéralisation de droite à gauche selon l'axe F1 en fonction des saisons (**Figure 9c**). En Hiver, (D, J et F), les paramètres de croissance (L, PF, PS, et Reg) ainsi que celui de reproduction (Rec) sont à leurs valeurs les plus faibles. Avec l'arrivée du Printemps (Ma, A, M), la croissance est appréciable aussi bien en gain de poids que de longueur. Cette croissance s'accroît en Été (J, Ju, Ao) probablement stimulée par l'augmentation de la température, de la salinité et des nitrates. La croissance en poids peu décalée dans le temps, se poursuit jusqu'au début de l'automne pour s'atténuer voir s'annuler en hiver.

4. Discussion

En dehors des travaux sur la contamination et l'accumulation des métaux lourds par *Fucus spiralis* réalisés par [28] et ceux de systématique et de répartition géographique réalisés par [2] et [29], aucune étude sur le cycle de croissance de cette phéophycée n'a été évoquée. Au Maroc les études menées se sont intéressées aux algues rouges bien représentées [8-13]. En effet, bien que le développement des thalles des espèces algales est régit génétiquement, il reste sensible aux effets des facteurs du milieu dont spécialement la température, l'intensité lumineuse [14], la salinité, les teneurs en nitrates et en phosphates [18, 30-33]. Nombreuses sont les études sur des populations algales, qui ont évoqué les variations saisonnières de la taille [34-37] et la croissance, qu'elle soit exprimée en surface ou en volume de thalle [38-40], en poids de biomasse fraîche [41], ou sèche [37,42], ou bien en taux de recouvrement [43] ou en d'autres paramètres propre aux espèces comme le nombre de dichotomie chez *Chondrus crispus* Stackhouse [44], ou celui de nœuds dans les frondes de *Macrocystis pyrifera* [41].

L'analyse quantitative des paramètres de croissance chez *Fucus spiralis* étudié en milieu naturel durant 24 mois, a révélé un développement lent et faible au printemps qui s'accroît en été pour atteindre son maximum, se poursuit jusqu'en début d'automne aussi bien pour la croissance en longueur qu'en biomasse avant de s'atténuer en Hiver.

Une activation importante de l'élongation des thalles a été enregistrée en 2004, de Janvier à Mai, et en 2005 de Janvier à Juillet. Ces périodes d'activité sont suivies d'une décroissance progressive pour rejoindre les valeurs les plus basses en janvier. Pour ce qui est des variations saisonnières de la biomasse fraîche, elles montrent durant la première année, trois périodes de croissance situées de Janvier à Avril, de Juin à Août et de Septembre à Novembre. Durant l'année suivante, la croissance n'a pris de l'élan qu'à partir du mois de Mai et se poursuit jusqu'au mois de septembre. La biomasse sèche a connu les mêmes variations saisonnières que pour la biomasse fraîche pour l'espèce *Fucus spiralis*. L'activation importante de la croissance, que ça soit par gain en poids frais ou sec ou en longueur des thalles ne peut être expliquée que par l'augmentation de l'intensité lumineuse, de la température et de la durée d'éclairement qui favorise le bon déroulement de la photosynthèse, ce processus clé, complexe, faisant intervenir de nombreuses étapes

qui sont affectées de manière différente par les facteurs de l'environnement comme en témoignent les travaux qui ont été menés sur *Gelidium sesquipedale* [10,45] et sur *Gymnogongrus patens*, [46] récoltés au niveau du littoral atlantique marocain. Par ailleurs, un suivi *in situ* du nombre de régénérations et de réceptacles caractérisant le thalle de *F. spiralis* a été mené pendant 20 mois tout comme pour les autres paramètres démographiques. Le nombre le plus bas était enregistré au mois de Janvier et ce n'est qu'à partir de Février que les régénérations s'activent, s'accroissent durant la période estivale et atteignent un maximum au mois de Septembre. Que ça soit par reproduction sexuée (réceptacle) ou asexuée (régénération), l'activation pourrait être liée à l'activité photosynthétique importante pendant l'été et aussi à l'élévation de la température, de la salinité et de la photopériode. Ce qui laisse penser à la possibilité de la mise en jeu d'un stimulus lumineux sous des conditions favorables du milieu pour déclencher le processus de la régénération chez cette espèce du médiolittoral supérieur.

Au cours de l'année, la teneur de l'eau en nitrates et en phosphates sont importantes en hiver, deviennent faible au printemps et en été ce qui indique qu'ils sont assimilés biologiquement au cours de la croissance notamment. Ces éléments sont souvent considérés comme facteur limitant pour la croissance [47]. Chez *Fucus* le développement ne semble pas dépendant des teneurs en phosphates (ACP). Une chute des régénérations est observé juste après le mois de septembre jusqu'à rejoindre les valeurs les plus basses au mois de janvier. Cette chute pourrait être expliquée par une inhibition de la régénération par des températures basses, une courte photopériode, de faibles intensités lumineuses caractérisant la saison automnale. En plus de la régénération, le recrutement végétatif qui se traduit par la formation de nouvelles frondes à partir de la base, présente une forme de reproduction importante dans les populations de *Fucus*. Le nombre de réceptacles s'accroît dès le début du mois de mai et atteint son pic au mois de septembre pour les deux années d'étude. Cette croissance active coïncide avec le début de la saison estivale caractérisée par des conditions optimales de croissance et en particulier une photopériode importante qui pourrait jouer le rôle de stimulateur de la gamétogénèse.

En effet, l'activité reproductive (gamétogénèse, libération des gamètes) des espèces marines est communément gérée par des facteurs environnementaux (rythmes circannuels, lunaires et semi-lunaires), ou par des températures et des photopériodes spécifiques [33,48,49]. La formation des structures reproductives (réceptacles) chez les fucoïdes est conditionnée par la longueur du jour [50]. Les jeunes plantes de *Fucus* atteignent généralement une longueur de 8 à 10 cm ou plus bien avant la formation des réceptacles. La chute du nombre de réceptacles après le mois de septembre peut être expliquée par le retour des conditions de stress qui caractérise la fin de l'automne et l'hiver.

L'analyse du diagramme de corrélations des différents paramètres de croissance a montré une importante corrélation positive entre le poids frais, le poids sec et la longueur. Des résultats similaires ont été notés chez *Pelvetia fastigiata* où [40] a trouvé que le poids frais de cette espèce était fortement et positivement corrélé au poids sec, à la longueur et au volume. Le poids frais ainsi que le poids sec montrent, par ailleurs, une corrélation positive avec les régénérations et les réceptacles, Ces résultats permettent de supposer que la croissance de *F. spiralis*, est plus liée à la régénération qu'à l'élongation des thalles. L'analyse en composante principale précise que l'élongation des thalles semble être influencée par l'augmentation de la température et de la salinité. Les paramètres de croissance (poids frais, poids sec, taille, régénérations) et de reproduction (réceptacles) semblent être influencés par la température, la salinité, avec lesquels ils sont corrélés positivement, ces paramètres de croissance et de reproduction sont au contraire corrélés négativement avec les phosphates.

5. Conclusion

Au terme de ce travail, les périodes de récolte de la phéophycée *Fucus spiralis* ont été repérées. La récolte devrait avoir lieu après la libération des gamètes dans l'eau de mer afin d'assurer la pérennité de l'espèce, elle pouvait se réaliser dès la fin du mois de septembre, après avoir atteint une croissance maximale en biomasse et en longueur et en maturité de réceptacles. Avec une période de récolte qui ne dépasse pas 2 mois pour laisser croître l'algue et ne pas perturber la repousse d'autres thalles. Il serait important d'éviter pour cette espèce les erreurs de gestion rencontrées dans l'exploitation de l'agarophyte *Gelidium sesquipedale* [3]. Il faut, en particulier, respecter le disque de fixation qui est la partie pérennante des thalles assurant la production de nouvelles frondes chaque année. La poursuite des travaux de recherche sur les facteurs qui influencent le cycle de développement de *F. spiralis* en milieu naturel pourrait aboutir à des résultats intéressants. Il serait en particulier, important de déterminer en perspective les facteurs qui influencent la libération des gamètes et la fixation des œufs sur les substrats d'une part, et d'autre part déterminer les conditions assurant la repousse de nouvelles plantules et la régénération sur les anciens thalles. Ces résultats permettraient d'instaurer la période de récolte sans nuire à la reproduction naturelle de l'espèce et de développer son aquaculture pour assurer une exploitation durable de l'espèce.

Remerciements

Nous remercions vivement le ministère de la coopération française qui a financé les différents stages d'échange au sein de l'action intégrée Volubilis Franco-marocaine N° MA/01/20. Au Maroc, nous remercions également le CNRST et notre ministère de tutelle qui ont financé une partie de ces recherches.

Références

- [1] - M. Ait Aazizi. Contribution à l'étude chimique de quelques espèces d'algues marines de la côte atlantique marocaine (Isolement et étude structurale). Thèse de Doctorat ès Sciences Naturelles. Fac. Sci. Semlalia - Marrakech, Maroc. (1990) 170p.
- [2] - S. Benhissoune, C.E. Boudouresque, M.P. Boudouresque and M. Verlaque. A checklist of the seaweeds of the Mediterranean and Atlantic coasts of Morocco. III Rhodophyceae (excluding Ceramiales). *Bot. Mar.* 45 (2002) 391-412.
- [3] - Th. Givernaud, N. Sqali, O. Barbaroux, A. Orbi, Y. Semmaoui, N. Rezzoum, A. Mouradi and R. Kaas. Mapping and biomass estimation for a harvested population of *Gelidium sesquipedale* (Turn.) Thuret (Rhodophyta, Gelidiales) along the Atlantic coast of Morocco, *Phycologia*. 44 (1) (2005) 66-71.
- [4] - M.D. Guiry and G.M. Guiry. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <http://www.algaebase.org>; searched on 18 March. (2009).
- [5] - A. Mouradi-Givernaud, Th. Givernaud, H. Morvan and J. Cosson. Annual variations of biochemical composition of *Gelidium latifolium* (Greville) Thuret and Bornet. *Hydrobiologia*. 260/261 (1993) 607-612.
- [6] - Th. Givernaud, A. El Gourji, A. Mouradi-Givernaud, Y. Lemoine and N. Chiadmi. Seasonal variations of growth and agar composition of *Gracilaria multipartita* harvested along the Atlantic coasts of Morocco. *Hydrobiologia*. 398/399 (1999) 167-172.
- [7] - A. Mouradi-Givernaud, L.M. Hassani, Th. Givernaud, Y. Lemoine and O. Benharbet. Biology and agar composition of *Gelidium sesquipedale* harvested along the Atlantic coast of Morocco. *Hydrobiologia*. 398/399 (1999) 391-395.

- [8] - A. Mouradi, M. Chikhaoui, M. Fekhaoui, R. Akallal, A. Guessous and Th. Givernaud. Variabilité interspécifique de trois algues rouges : *Hypnea musciformis*, *Gracilaria multipartita* et *Gelidium sesquipedale* (Rhodophycées) de la côte atlantique marocaine. *Afrique Science*. 02 (3) (2006) 365-389.
- [9] - A. Mouradi, A. Amimi, F. Elomari, Ah. Mouradi and T. Givernaud. Biological cycle of *Gigartina pistillata* (Gmelin) Stackhouse in Nations beach of Morocco. *Algological Studies*. 123 (2007) 73-93.
- [10] - A. Mouradi, O. Benharbit, L.M. Hassani, L. Bennasser, Ah. Mouradi, I. Hrimile, M. Bennis and Th. Givernaud. Analyse de la croissance et des variations morphologiques de *Gelidium sesquipedale* (Turner) Thuret (Rhodophyceae, Gélidiales) de la côte atlantique marocaine. *Afrique Science*. 03 (3) (2007) 434-460.
- [11] - A. Mouradi, Th. Givernaud, M. Chikhaoui and L. Bennasser. Seasonal variation of the growth, chemical composition and carrageenan extracted from *Hypnea musciformis* (Wulfen) Lamouroux harvested along the Atlantic coast of Morocco. *Scientific Research and Essay*. 2 (10) (2008) 509-514.
- [12] - A. Mouradi, M. Chikhaoui, M. Fekhaoui, L. Bennasser, N. Chiadmi and Th. Givernaud. Croissance et capacité reproductive d'*Hypnea musciformis* (Rhodophyceae, Gigartinales) de la côte atlantique marocaine. *Afrique Science*. 04 (1) (2008) 99-124.
- [13] - A. Amimi, Th. Givernaud, M. Lahaye and A. Mouradi. Seasonal variations in thalli and carrageenan composition of *Gigartina pistillata* (Gmelin) Stackhouse (Rhodophyta, Gigartinales) harvested along the Atlantic coast of Morocco. *Phycological Research*. 55 (2) (2007) 143-149.
- [14] - K. Luning. Seaweeds: their environment, biogeography and ecophysiology. Ed. Wiley & Sons, New-York. (1990) 527 p.
- [15] - M. Yakovleva, I.M. Yermak, E.A. Titlyanov, A.O. Barabanova, M.L. Quartino, H.E. Zaixso and A.L. Boraso De Zaixso. Biological and environmental characterization of marine macroalgal assemblages in Potter Cove, South Shetland Islands, Antarctica. *Bot. Mar.* 48 (2005) 187-197.
- [16] - C. R. Bulboa and J.E. Macchiavello. The effects of light and temperature on different phases of the life cycle in the carrageenan producing alga *Chondracanthus chamissoi* (Rhodophyta, Gigartinales). *Bot. Mar.* 44 (2001) 371-374.
- [17] - A. H. Buschmann, D. Varela, M. Cifuentes, M.D.C. Hernandez-Gonzalez, L. Henriquez, R. Westermeier and J.A. Correa. Experimental indoor cultivation of the carrageenophytic red alga *Gigartina skottsbergii*. *Aquaculture* 241 (2004) 357-370.
- [18] - S. El Bacha, A. Mouradi, A. El Gourji, B. Benazzouz and Th. Givernaud. Biological cycle of the agarophyte *Gracilaria multipartita* (Clemente) Harvey (Rhodophyceae, Gracilariales) on the Moroccan Atlantic. *Actes Inst. Agron. Vet. (Maroc)* 24 (1-2) (2004) 23-34.
- [19] - M. L. Quartino, H.E. Zaixso and A.L. Boraso de Zaixso. Biological and environmental characterization of marine macroalgal assemblages in Potter cove, South Shetland Islands, Antarctica. *Bot. Mar.* 48 (2005) 187-197.
- [20] - K. Kostamo and A. Mäkinen. Observations on the mode and seasonality of reproduction in *Furcellaria lumbricalis* (Gigartinales, Rhodophyta) populations in the northern Baltic Sea. *Botanica Marina*. 49(4) (2006) 304-309.
- [21] - J. Cabioch, J.-Y. Floch, A. Le Toquin, C-F. Boudouresque, A. Meinesz and M. Verlaque. Guide des algues des mers d'Europe, manche, atlantique, Méditerranée, Les guides du naturaliste, ed. Delachaux & Niestle, (2006) 272p.
- [22] - J. B. Mullin and J.P. Riley. The spectrophotometric determination of silicate-silicon in natural waters with special reference to sea water. *Anal. Chim. Acta*. 12 (1955) 162-170.
- [23] - J. D. H. Strickland and T.R. Parsons. A practical handbook of sea-water analysis. *Bull. Fish. Res. Bd. Can.* 167 (1972) 71-89.
- [24] - J. S. Stephens. A practical handbook of sea-water analysis. *Limnol. Ocean.* 8 (1963) 361p.
- [25] - J. Murphy and J.P. Riley. A modified simple solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta*. 26 (1962) 31-36.

- [26] - D. Beauvillier. Programmes d'application SAS pour l'analyse des données. Ed. SMG. Quebec. (1995) 57-130.
- [27] - B. Duncan. Multiple range and multiple F tests. *Biometrics*. 11 (1955) 1-42.
- [28] - A. Kaimoussi, A. Chafik, M. Cheggour, A. Mouzdahir and S. Bakkas Variations saisonnières de la concentration des métaux (Cd, Cu, Zn, Fe et Mn) chez la moule *Mytilus galloprovincialis* du littoral de la région d'El Jadida (Maroc). *Marine Life* 10 (1-2) (2000) 77- 85.
- [29] - P. Gayral. Les algues de la côte Atlantique marocaine. *Soc. Sci. Nat. et Phys. Maroc. Rabat.* (1958) 527p.
- [30] - Th. Givernaud, A. Mouradi, L.M. Hassani, R. Akallal and J. Riyahi. Design of a new technique for reseedling of over harvested bed of *Gelidium sesquipedale* (Turn.) Thuret (Rhodophyta, Gelidiales) in Morocco. In: Chapman, A.R.O., Anderson, R.J., Vreeland, V. & Davison, T.R. Proceeding of the 17th international seaweed symposium, Cap town, (Eds) Oxford University press. (2003) 123-130.
- [31] - J. Silva and R. Santos. Comparative ecophysiology of *Gelidium sesquipedale* (Rhodophyta). Erect fronds and prostrate system. In: Chapman, A.R.O., Anderson, R.J., Vreeland, V. and Davison, T.R. Proceeding of the 17th international seaweed symposium, Cap town. Eds. Oxford University press. (2003) 417-424.
- [32] - T. Chopin, G. Sharp, E. Belyea, R. Semple and D. Jones. Open-water aquaculture of red alga *Chondrus crispus* in Prince Edward Island Canada. *Hydrobiologia*. 398/399 (1999) 417-425.
- [33] - B. Santelices. Patterns of reproduction, dispersal, and recruitment in seaweeds. *Oceanography and Marine Biology Annual Review*. 28 (1990) 177-276.
- [34] - E. J. Sideman and C. Mathieson. The growth, reproductive phenology, and longevity of non-tide pool *Fucus distichus* (L.) Powell in New England. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 68 (1983) 111-127.
- [35] - P. O. Ang, Phenology of *Sargassum siliquosum* J. Ag. and *S. paniculatum* J. Ag. (Sargassaceae, Phaeophyta) in the reef flat of Balibago, Calatagan, Philippines. *Proc.5th Int. Coral Reef Symp.* 5 (1985) 51-57.
- [36] - B. Klein. The phenology of *Dumontia contorta* (Rhodophyta) studied by following individual plants *in situ* at Roscoff, Northern Brittany. *Bot. Mar.* 30 (1987) 187-194.
- [37] - W. A. Nelson. Phenology of *Gracilaria sordida* populations. Reproductive status, plant and population size. *Bot. Mar.* 32 (1989) 41-51.
- [38] - J. M. Kain. The biology of *Laminaria hyperborea* VIII. Growth on cleared areas. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* 56 (1976a) 267-290.
- [39] - J. M. Kain. The biology of *Laminaria hyperborea* IX. Growth pattern of fronds. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* 56 (1976b) 603-628.
- [40] - F. C. Guninill. Growth, morphology and microherbivore faunas of *Pelvetia fastigiata* (Phaeophyta, Fucaceae) at La Jolla, California USA. *Bot. Mar.* 28 (1985) 187-199.
- [41] - B. Van Tussenbroek. Seasonal growth and composition of fronds of *Adacrocystis pyrifera* in the Falkland Islands. *Mar. Biol.* 100 (1989) 419-430.
- [42] - C.R.C. Sheppard, B.P. Jupp, A.L.S. Sheppard and D.J. Bellamy, Studies on the growth of *Laminaria hyperborea* (Gunn.) Fosl and *Laminaria ochroleuca* De La Pylaie on the French Channel coast. *Bot. Mar.* 21 (1978) 109-116.
- [43] - M. Keser and B.R. Larson. Colonization and growth dynamics of three species of *Fucus*. *Mar. Ecol. Prog.* 15 (1984) 125-134.
- [44] - J. D. Pringle and R.E. Semple. Impact of harvesting on Irish moss (*Chondrus crispus* Stackhouse) frond size-class structure. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 45 (1988) 767-773.
- [45] - M. Torres, F.N. Xavier and P. Algarra. Photosynthesis of *Gelidium sesquipedale*: effects of temperature and light on pigments concentration, C/N ration and cell- wall polysaccharides. *Hydrobiologia*. 221 (1991) 77-82.

- [46] - F. El Omari, A. Mouradi, L. Bennaser, M. Bennis, H. Blail, Ah. Mouradi and Th. Givernaud. Analyse de la croissance de *Gymnogongrus patens* Agardh de la côte atlantique marocaine. *Afrique Science*. 03 (3) (2007) 413-433.
- [47] - J. A. Deboer. Nutriment- In Loban, C. S. & Wynne, M. J. (eds): The biology of seaweeds, Blakwell, Oxford. (1981) 365-392
- [48] - A. C. Giese and H. Kanatan, Maturation and spawning. In: Giese A.C., Pearse J.S., Pearse V.B. (eds) Reproduction of marine invertebrates. Ed. Blackwell Scientific Publication, Palo Alto. (1987) 252-329.
- [49] - S. H. Brawley and L.E. Johnson. Gametogenesis, gametes and zygotes: ecological perspectives on sexual reproduction in the algae. *J. Phycol.* 27 (1992) 233-252.
- [50] - N.L. Bird and J. Mc Lachlan. Control of formation of receptacles in *Fucus distichus* L. ssp *distichus* (Phaeophyceae: Fucales). *Phycologia*. 15 (1976) 79-84.