

**REPARTITION ET CONDITIONS D'INSTALLATION
DE POSIDONIA OCEANICA DELILE
ET CYMODOCEA NODOSA ASHERSON
DANS LE GOLFE DE TUNIS (1)**

par

Habib Ben Alaya (2)

RESUME

Il est démontré l'existence d'un cycle sédimentologique dans le golfe de Tunis et particulièrement le long de la côte occidentale. Ce cycle comporte un envasement hiverno-printanier dû aux apports néritiques des oueds Medjerdah et Meliane durant la saison des crues et une remise en suspension estivale des particules les plus fines et leur acheminement vers le milieu du golfe durant la période des étiages.

Cesmouvements intéressent la frange cotière soumise à l'action des vagues de telle sorte qu'à la fin de l'été (septembre-octobre) et à l'exception de certaines zones, les régions dont les profondeurs varient de 0 à 20 m ont un substrat sableux ou sablo-vaseux.

La côte orientale du golfe échappe à ce phénomène et le substrat y est soit rocheux, soit sableux soit détritique.

La répartition de *Cymodocea nodosa* Asherson et de *Posidonia oceanica* Delile dépend de la stabilité du substrat, caractère permanent ou saisonnier de l'envasement et dans des limites bien larges des variations de la salinité et de la température, la turbidité restant un facteur limitant à l'extension en profondeur des herbiers à Posidonies notamment.

(1) Ce mémoire correspond à une thèse présentée à la Faculté des sciences de Tunis pour obtenir le grade de docteur de spécialité (3ème cycle de biologie marine).

(2) Institut national scientifique et technique d'océanographie et de pêche, Salammbô, Tunisie.

Les deux modes différents d'extension et de développement des *Cymodocees* et des *Posidonies* font que les premières préfèrent des fonds instables, en l'occurrence du sable ou un apport vaseux saisonnier, les deuxièmes s'établissent sur des fonds stabilisés ou sur un fond entraînable mais situé à la limite de l'action des vagues ou encore en mottes barrières constamment battues par le flux. La richesse en matière organique semble être la conséquence de l'installation des herbiers et pas toujours une condition nécessaire à leur établissement.

Un dispositif expérimental a permis de déterminer l'action de la température et de la salinité sur le développement des deux espèces et d'expliquer biologiquement les exigences en nature de substrat.

ABSTRACT

The existence of a cyclic pattern of sedimentology is demonstrated for the accidental west coast of the Gu'f of Tunis. During winter and spring, neritic silting occurs via the sediment carried by the out fall of the Oued Medjerdah and Miliane; the silting influences even shallo waters.

After the cessation of rain runoff (May, June) changes in the d'rection of prevailing winds influences resuspended sediments to be deposited in shallower depths occuring throughout summer to September October; exceptions from this pattern are specific areas in 0-20 m depth with sand-mud substrates.

In contrast on the eastern coast of the gulf little sedimentation occurs, and the substrate is one or a combination of sand, rochs, or detritus.

The occurance of *Cymodocea nodosa* and *Posidonia oceanica* depends principally upon the stability of the substraton, the extent of the grass beds of *Posidonia* especially is effected by turbidity/sedimentation, over wide ranges of salinity and temperature levels. *Cymodocea* thrives more on instable substrates where sand or silty sand deposts are « cycling »; where as *Posidonia* thrives in areas of stablil substrate, or certain alluvial areas where wave action prevents siltation.

The amount of organic matter for an area is a resu't of these factors.

In action of temperature and salinity upon development of the two species of marine grasses was tested to indicate some correlation with the nature of the substrate.

INTRODUCTION, HISTORIQUE ET PLAN DE TRAVAIL

L'étendue des prairies à phanérogrames marines en Méditerranée et l'importance de la biomasse végétale qu'elles représentent leur confèrent un rôle écologique et biocénotique très important. Ces herbiers sont, de nos jours, exposés à une

destruction due à la pollution des côtes, au grattage excessif des fonds par des engins de pêche de plus en plus lourds et de plus en plus nombreux, et aux déversements en mer des déchets de l'industrie. Cela a déjà provoqué la disparition progressive des prairies à Posidonies sur certaines côtes européennes (G. Simonetti, 1967).

Les Cymodocées semblent un peu plus résistantes et de part la faible étendue qu'elles occupent leur disparition passe plus ou moins inaperçue.

L'étude de ces deux espèces a fait l'objet depuis le début du siècle d'un certain nombre de publications dont nous citons les plus connues.

C.H. Ostenfeld (1918) a mis en évidence le caractère endémique méditerranéen des deux espèces qui nous intéressent particulièrement dans ce travail, *Posidonia oceanica* Delile, 1813 (*P. caulini* Koenig) et *Cymodocea nodosa* Ascherson, 1867 (*C. aequorea* Koenig). Depuis, d'autres ont précisé le rôle qu'elles jouent dans l'ensemble morphologique, biologique, phyto et zoosociologique du milieu marin.

Leur installation, souvent énigmatique, dans une région plutôt que dans une autre, a fait l'objet de nombreuses études dont les plus complètes sont incontestablement celles de R. Molinier et J. Picard (1952, 1953 a, 1953 b et 1954); citons également les travaux J.M. Pérès et J. Picard (1955, 1958, 1964), J.M. Pérès (1961), A. Kerneis (1960), C.F. Boudouresque (1968) et H. Ben Alaya (1969) pour le golfe de Tunis.

Les biocénoses à Posidonies ont été étudiées particulièrement par J.M. Pérès (1967) qui mentionne de nombreux animaux vivant dans ces biocénoses dont des Gastéropodes : *Bittium reticulatum*, *Ocinellira aciculata* etc., des Isopodes : *Idothea hectoca*..., des Décapodes : *Eupagurus anachoretus*, des Copépodes, des Amphipodes, des espèces nectoniques telles que : *Hippolyte inermis* et *Palaemon serratus* (Crustacés), des Labridés et des Syngnathes (Poissons).

Il ressort de ces études que les Posidonies et les Cymodocées nécessitent un véritable « sol » riche en « humus » et de caractère granulométrique bien déterminé et ceci, pour chacune des deux espèces. Elles ont également des exigences propres quant à la salinité et à la lumière. Cependant, si tous les auteurs sont d'accord sur le caractère plus au moins sténohalin et sténotherme, l'unanimité n'est pas acquise quant à la nature et à la composition du substrat exigées par chacune.

Posidonia oceanica est une espèce phytophile sténohaline et sténotherme, nécessitant pour son développement un véritable sol moyennement riche en matière organique. Cette plante possède trois phases saisonnières successives de croissance (R. Molinier et C. Zevaco, 1962) :

une phase de latence intéressant l'automne et une période de l'hiver (octobre à janvier) ;

une phase de grande activité printanière (février à mai) ;

enfin, une phase de ralentissement de la croissance (mai à octobre).

Cependant, les valeurs optimales des différents facteurs écologiques qui conditionnent cette croissance ne sont encore connues qu'approximativement.

Cymodocea nodosa n'a pas suscité le même intérêt que l'espèce précédente. Les travaux de P. Duchartre (1872), de C.H. Ostenfeld (1918), de J. Pottier (1929), de R. Molinier et J. Picard (1952, 1953 et 1954) et de A.A. Aleem (1955) ont permis de dégager une description systématique, écogéographique et biocénotique de cette espèce. Nous pouvons en retenir que de même que *Posidonia oceanica*, *Cymodocea nodosa* ne se trouve guère qu'en Méditerranée et que ses exigences correspondent à peu près aux valeurs moyennes de la salinité et de la température de cette mer, avec une préférence pour les endroits calmes séparés du large par des récifs barrières. Elle manifeste une certaine tolérance quant à la nature du sol et à sa composition chimique. Ces données, bien que nombreuses, restent toujours approximatives et ne font pas état de valeurs limites; aucun travail expérimental n'a été fait dans ce sens. N. Benacchio (1938) a fait une telle étude sur *Zostera marina*, mais sans tenir compte de l'interaction des différents facteurs, et n'a précisé que l'influence des variations de la température.

L'écologie des Phanérogames marines reste donc assez mal connue. Nous essayerons dans ce travail d'apporter des réponses à un certain nombre de questions : nos investigations, qui ont duré plus de deux ans, ont eu pour but de déterminer avec précision l'action du milieu sur l'installation, la croissance et le développement de ces deux espèces, et ce, en fonction de leur répartition actuelle dans le golfe de Tunis.

Une étude expérimentale a été effectuée pour compléter les données des observations *in situ*. Il a fallu pour cela étudier de façon continue les caractères hydrologique et sédimentologique assez particuliers du golfe de Tunis, pour dégager leur incidence sur la répartition actuelle de ces plantes.

CHAPITRE PREMIER

PRESENTATION DES CONDITIONS GEOGRAPHIQUES ET CLIMATIQUES DU GOLFE DE TUNIS

1. SITUATION GEOGRAPHIQUE

Le golfe de Tunis est situé à la limite nord-est de l'Afrique du Nord. Il s'étend entre $10^{\circ} 10'$ et $11^{\circ} 5'$ de longitude est et entre $36^{\circ} 38'$ et $37^{\circ} 10'$ de latitude nord. Il occupe une place privilégiée entre les deux bassins occidental et oriental de la Méditerranée, puisqu'il fait partie du bassin siculo-tunisien tel qu'il a été défini par G. Castany (1955), et se trouve juste au sud du seuil de ce bassin.

Le golfe de Tunis se présente comme une grande baie largement ouverte vers la mer au nord; la partie sud, étranglée au niveau de l'axe cap Carthage — Ras Fortas, est relativement abritée des vents dominants et, de ce fait, présente un aspect sédimentologique particulier.

2. ASPECT DE LA COTE

Le golfe semble présenter une grande dissymétrie géologique entre ses deux côtes, occidentale et orientale (fig. 1).

La côte occidentale est de nature alluviale. Elle correspond (P. Muraour, 1959) aux formations deltaïques plioquaternaires de la Medjerdah dont le lit a, à travers tout le Quaternaire, balayé, par déplacement successifs vers le nord, toute la région entre Salammbô et cap Farina (A. Jauzein, 1967).

Il s'agit donc d'une plaine alluviale riche en lagunes (lac de Porto-Farina, sebkhat Erriana et lac de Tunis). Cette côte est bordée dans toute sa longueur par des plages de sable qui font suite à un cordon littoral; celui-ci est à peine interrompu par endroits, soit par des formations vasières au niveau des embouchures de la Medjerdah et de Méliane, soit par des collines, de nature Pliocène aux caps Farina et Gammarth et Miocène à Sidi Bou-Saïd (J. Pimienta, 1959).

La partie sud et sud-est du golfe est également une formation deltaïque, sa nature sableuse étant l'œuvre de l'alluvionnement de l'oued Méliane.

Il est à noter qu'entre Salammbô et Carthage, il existe à quelques mètres du rivage une ligne discontinue de rochers, définis sur la carte du Service hydrographique de la marine comme des ruines d'anciens môles. Ces rochers, comme nous

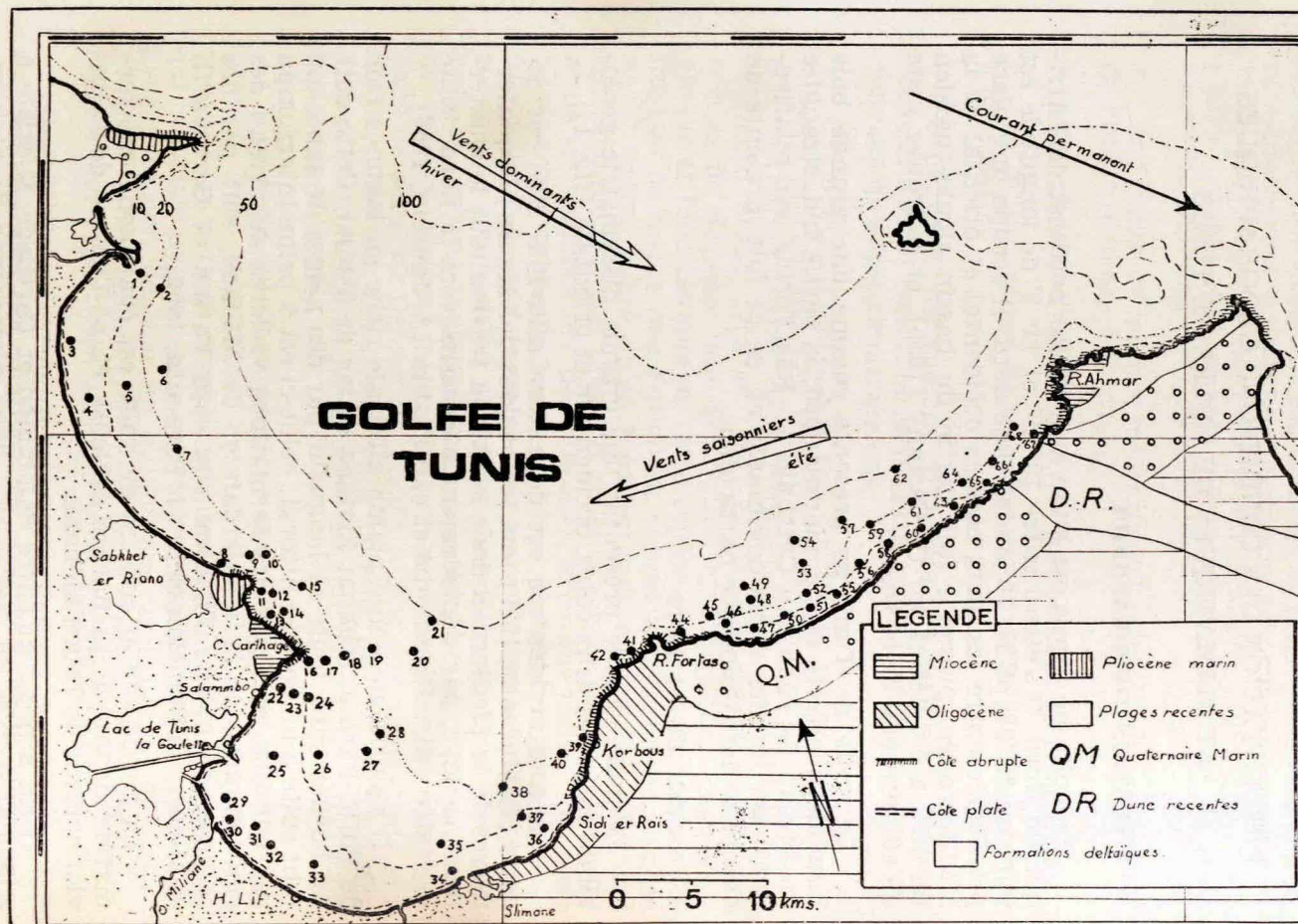


Fig. 1. Le golfe de Tunis.

le verrons plus tard, ont une influence directe sur l'établissement des rares plaques de Posidonies dans cette région, et méritent ainsi d'être signalés.

La côte orientale telle qu'elle a été décrite par J. Pimienta (1959) s'étend de Hammam-Lif à El Haouaria.

De Hammam-Lif à Sidi-Erraïs, il s'agit d'un cordon littoral formé de dunes récentes, derrière lesquelles s'étend une plaine alluviale parsemée de marécages.

De Sidi-Erraïs à Ras Fortas, se dresse par contre un massif rocheux se terminant souvent brutalement au contact de la mer. L'érosion a modelé la côte soit en petites baies sablonneuses, soit en îlots, soit en falaises au bas desquelles des éboulis émergent en basse mer. Ce massif, oligocène, se continue sous la mer par une plate forme où la sédimentation est réduite en une mince couche de sable envasée en surface. L'action violente des vagues dans cette région particulièrement exposée aux vents dominants NW, d'une part, et la faible profondeur de l'eau, d'autre part, empêchent toute sédimentation. Cette plate-forme est interrompue, à 500 m environ de la côte, par une faille de direction SW-NE (Jauzein 1967) et la profondeur tombe brutalement de 10 à 20 m.

Enfin, la partie de la côte comprise entre Ras Fortas et El Haouaria est essentiellement de nature alluviale; il s'agit d'un Quaternaire marin avec des plages de sable riches en débris coquilliers exception faite de Ras El Ahmar où le Miocène marin domine. Plus au nord, ce sont à nouveau des alluvions récentes qui forment les belles plages d'El Haouaria.

3. CARACTERISTIQUES CLIMATIQUES DE LA REGION

Ce sont les facteurs climatiques qui orientent l'action des phénomènes hydrologiques et sédimentologiques dans le golfe de Tunis. Nous verrons que ces facteurs ont une influence directe sur les variations de salinité, la nature du fond et l'évolution des herbiers à Phanérogames marines dans cette région.

a. — La température au sol

Les tableaux 1 et 2 font état d'observations faites par le Service météorologique, en milieu aérien. Ils montrent que le climat est tempéré, avec des moyennes annuelles situées autour de 18° C. La saison hivernale s'étend pratiquement de décembre à mars; l'hiver est peu accentué. Les plus hautes températures sont enregistrées aux mois d'août alors que les plus basses correspondent au mois de janvier.

TABLEAU 1

*Température moyenne (en °C) d'après les mesures
effectuées en plein air à 1 m du sol
(demi-somme des moyennes des températures extrêmes quotidiennes)*

Station \ Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Tunis-Aouina 1901-1960	11,0	11,7	13,4	15,5	19,0	23,3	26,0	26,4	24,5	19,9	15,2	11,4	18,0
Kélibia 1901-1950	11,4	11,6	13,5	26,0	19,3	23,5	26,3	26,9	24,8	20,9	16,3	12,4	18,6

TABLEAU 2

Moyenne des minimums quotidiens de la température (en °C)

Station \ Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Tunis-Aouina 1901-1960	7,2	7,6	9,1	11,0	14,1	18,2	20,4	21,2	19,9	16,0	12,0	8,5
Kélibia 1901-1950	8,2	8,2	9,4	11,3	14,0	17,9	20,6	21,4	20,2	16,7	12,6	9,1

b. — La pluviométrie

La pluviosité en Tunisie est du type méditerranéen : les précipitations sont rares mais violentes.

La moyenne annuelle de 442 mm donnée par Pimienta (1958) pour la période de 1925-40 à El Aouina et la moyenne de 454 mm que nous avons calculée d'après les données du Service de la météorologie nationale pour la période de 1924-60 (tableau 4) révèlent une pluviosité assez importante.

Les précipitations les plus abondantes sont concentrées sur un nombre réduit de jours, principalement entre les mois de novembre et de mars, soit sur 45 jours au total (tableau 3). Les pluies printanières, quoique fréquentes, sont limitées et ne provoquent pas de crues. La période estivale (juin à septembre) est pratiquement sèche. Ainsi, la région de Tunis est caractérisée par un été chaud et sec et un hiver doux et pluvieux (tableaux 3 et 4).

c. — Le régime fluvial

Le golfe de Tunis présente un caractère hydrologique intensément marqué par l'existence d'un certain nombre d'oueds qui y déversent leurs eaux et leurs alluvions et dont les plus importants sont : La Medjerdah, l'oued Méliane et l'oued El-Abid. Ce dernier peu étudié, a un caractère temporaire et influe relativement peu sur l'hydrologie de la région où il se déverse. La Medjerdah et Méliane ont par contre un régime permanent et charrient des quantités énormes d'alluvions.

La Medjerdah est, de loin, la rivière la plus importante de Tunisie; elle se déverse au NW du golfe. Son régime est permanent, mais son débit affiche un maximum entre janvier et avril. Ces dates correspondent à la saison pluvieuse, en tenant compte du temps de latence nécessaire après un été sec. Le minimum se situe en septembre comme le montre le tableau 5 établi d'après une étude de E. Berkloff et P. Menard (1940).

A son embouchure, le débit de la Medjerdah a été estimé par Callot (1953) à 1 milliard de m³ dont la moitié proviendrait des crues supérieures à 80 m³/s; le résidu solide est évalué à 25 g/l pour les crues et à 10 g/l pour les étiages inférieurs à 80 m³/s, ce qui correspond à un total de 17 millions de tonnes de sédiment par an.

Si nous considérons les 16 km² du golfe intéressés directement par cet apport, nous obtenons un chiffre annuel de

TABLEAU 3

Nombre moyen de jours de pluie

Station \ Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Tunis-Aouina 1924-1960	12	10	9	7	5	2	1	2	5	8	10	13	84
Kélibia 1901-1950	11	9	7	6	5	2	1	1	5	7	8	11	73

TABLEAU 4

Hauteurs moyennes de pluies (en mm)

Station \ Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Tunis-Aouina 1924-1960	69	46	44	40	23	9	1	9	36	54	56	67	454
Kélibia 1901-1950	64	52	38	28	16	5	1	4	38	64	65	69	444

TABLEAU 5

Débit de la Medjerdah à Medjez El Bab (en 1000 m³/mois)

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
83,5	88,5	120	52	112,5	21,5	11,5	14,5	12	22	21	20	579

70 cm de hauteur d'alluvion. Il est évident que cette hauteur ne correspond pas à un dépôt réel mais permet d'avoir une idée sur l'importance de la sédimentation dans cette partie du golfe et de comprendre l'intérêt que nous accordons à ce phénomène.

L'oued Méliane a son embouchure au SW du golfe. Son débit annuel, irrégulier, est en moyenne de 50 106 m³; des crues brutales interviennent souvent avec des débits de 200 m³/s environ (A. Jauzein, 1967).

L'importance des grandes nappes alluviales qui caractérisent les débouchés de la Medjerdah et de Méliane a été signalée par A. Jauzein (1967). Ces alluvions, d'après cet auteur, sont constituées essentiellement de limon et de sable. Ce dernier est plus abondant dans le cas de l'oued Méliane. Le débit solide de ce dernier subit, dès l'embouchure, un transport, sous forme de suspension, vers le nord (J. Pimienta, 1959) et arrive jusqu'au cap Carthage où les courants provoqués par les vents dominants du NW, arrêtent sa course. Ce transport vers le nord est marqué pendant les grandes crues, par le rejet sur toutes les plages de La Goulette, Salammbô et Carthage de matériaux charriés par la rivière le long de son parcours.

d. — Les vents

Les vents nous intéressent dans cette étude d'une part, par l'action qu'ils provoquent sur le transport des eaux fluviales et des alluvions qu'elles contiennent, d'autre part, par l'agitation des eaux marines et la remise en suspension des limons terrigènes, provoquant ainsi une turbidité quasi permanente dans certaines zones du golfe, enfin par les courants que ces vents engendrent, courants qui provoquent le déplacement des sables et des vases à travers une grande partie du golfe.

Le régime des vents dans cette région se caractérise par sa fréquence et son intensité. Les vents prennent sou-

TABLEAU 6

Vents au sol — Fréquence pour 1000 — Région de Tunis
(d'après les données du Service météorologique national 1951-1960)

Vitesse (m/s) Direc- tion	2	3 et 4	5 et 6	7 et 8	9 à 11	12 à 14	15 à 17	18 à 20	21 à 24	25 à 28	Sup. à 28	Total
N	5,5	10,2	11,5	6,2	3,1	0,5		0,1				37,1
NNE	4,0	11,0	11,9	3,9	1,3	0,1						32,2
NE	4,6	14,9	15,8	4,5	1,4	0,1						41,3
ENE	4,0	9,2	9,9	2,2	0,9	0,1						26,3
E	4,2	13,5	13,7	7,7	3,0	0,2	0,2					42,5
ESE	2,2	8,5	10,9	8,3	4,7	1,4	0,2					36,2
SE	4,0	8,4	9,4	8,2	6,6	1,1	0,2					37,9
SSE	5,0	10,5	8,3	7,0	5,9	0,8	0,1					37,6
S	7,2	12,6	6,9	4,3	1,7	0,1				0,1		32,9
SSW	11,4	16,3	6,3	2,0	0,5	0,1			0,1			36,7
SW	18,3	30,8	13,7	3,1	1,0	0,2						67,1
WSW	13,3	28,2	17,2	6,9	3,0	0,9	0,1		0,1			69,7
W	12,6	32,1	27,2	14,8	8,7	2,7	0,8	0,3				99,2
WNW	7,2	18,7	22,2	15,6	13,1	5,1	1,3	0,3	0,1			83,6
NW	8,8	19,9	22,1	18,8	15,9	4,2	1,5		0,1			92,3
NNW	5,6	10,4	14,1	8,8	6,8	1,8						47,5
Calme												179,9
Total	117,9	255,2	221,1	123,3	77,6	19,4	4,4	0,7	0,4	0,1		1000,0

Nombre total d'observations : 14602

Heures d'observations 00, 06, 12, 18 h TU

vent deux directions opposées durant le même jour. Il y a cependant une dominance des vents NW, illustrée par le tableau 6, résumant les relevés effectués par le Service météorologique dans la région de Tunis El Aouina.

A. Jauzein (1967) a établi, d'après ces données, une rose des vents que nous reproduisons (fig. 2) et qui illustre cette dominance. On doit signaler également une différence nette entre les vents d'été et les vents d'hiver. J. Pimienta (1959)

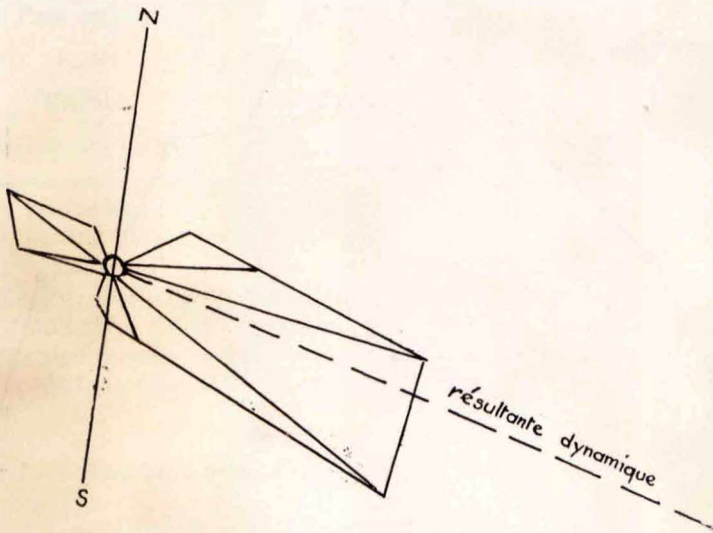


Fig. 2. Rose des vents dans la région de Tunis
(d'après A. Jauzein, 1967).

attribue l'origine des vents d'hiver, intenses et constants, aux grandes perturbations atmosphériques. Les vents d'été, faibles et variables, résultent d'après lui de l'alternance des brises de terre et des brises de mer et ont donc un caractère local.

En définitive, ce sont surtout les vents hivernaux de direction N et NW qui provoquent les houles et qui, par le fait même qu'ils correspondent aux périodes de crues des oueds, déterminent le déplacement vers le sud et le sud-est des alluvions fluviales; c'est le cas pour la Medjerdah. L'oued Méliane, protégé par le tombolo de Carthage, échappe à cette action.

e. — L'insolation

Les chiffres d'irradiation globale, aux différentes heures, à Tunis, sont résumés dans le tableau 7 et exprimés en calories grammes par cm^2 et par minute. Les moyennes mensuelles, (fig. 3) révèlent un maximum aux mois de juin et juillet et un minimum pour la saison hivernale.

Dans le golfe de Tunis, la grande turbidité de l'eau empêche les radiations, dans certaines zones, de dépasser les premiers mètres.

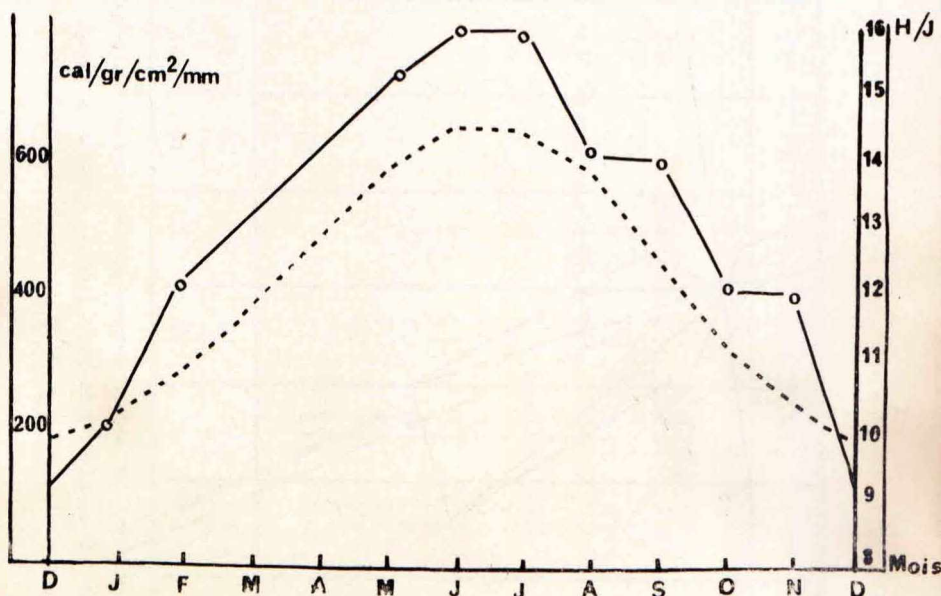


Fig. 3. Radiations moyennes dans la région de Tunis.
 — Répartition des radiations moyennes mensuelles globales à Tunis — El Aouina 1965-1966.
 - - - - - Durée moyenne mensuelle des jours à Tunis (d'après les données du service de la météorologie nationale).

La hauteur de la couche euphotique est calculée d'après la formule de Kimbal, $d = 2,5 D$, où D est la profondeur à laquelle le disque de Secchi n'est plus visible. Dans certaines régions du golfe, cette formule donne une idée nette de la turbidité de l'eau, surtout aux embouchures des oueds.

La hauteur de cette couche euphotique est toujours faible dans l'ensemble du golfe. Nous remarquons, d'après le tableau 7, la grande turbidité existant le long de toute la côte occidentale, alors que les eaux restent relativement claires durant

TABLEAU 7

Hauteur moyenne (en m) de la couche euphotique dans le golfe de Tunis

	Janvier		Mars		Juin		Octobre	
	D	d	D	d	D	d	D	d
Embouchure Medjerdah	0,80	2	1,20	3	1,70	4,45	2,5	6,25
Salammbô	1,80	4,50	2,80	7,00	16	40	14	35
Goulette Face au port	1,20	3	1	2,5	2,50	6,25	1,50	3,75
Radès	1,20	3	0,80	2	2,50	6,25	1,50	3,75
Korbous	17	42,50	16	40	24	60	30	75,0
Milieu du golfe	15,20	13	14,50	36,25	25	62,5	33	82,5

D = profondeur à laquelle le disque de Secchi disparaît;

d = hauteur de la couche euphotique.

toute l'année sur la côte orientale. Le milieu du golfe, au delà de l'isobathe 50 m, montre une certaine turbidité durant les crues des oueds. Ces crues avec les alluvions qu'elles ramènent affectent, faiblement et avec un certain retard, la côte orientale.

f. — Les différences de niveau

« L'amplitude des marées, écrit L. Chambost en 1928, est extrêmement faible dans le golfe de Tunis et n'atteint que quelques centimètres à peine. D'autres facteurs agissent sur la mer et accentuent les différences de niveau ».

Les dénivellations, selon l'auteur, sont liées à la direction et à la force des vents d'une part, et à la pression atmosphérique d'autre part, qui les amplifient. Les différences de niveau maximal n'atteignent pas à La Goulette 0,40 m.

Pour notre part, nous avons, par un repérage sur les vestiges partiellement immergés, mesuré jusqu'à 0,60 m de différence de niveau maximum à Salammbô et à Sidi Bou Saïd; nous avons également remarqué que les plus grandes amplitudes sont enregistrées dans les zones abritées des vents dominants et ce, au début de l'été et en automne. Les basses eaux arrivent à mettre à découvert les prairies à Cymodocées et même les feuilles des Posidonies qui se trouvent plus au large.

(novembre à avril) et deux fois pendant la saison sèche (avril à octobre). Les résultats donnés dans les tableaux 8 à 23 représentent les pourcentages saisonniers moyens de chaque fraction granulométrique de l'échantillon.

c. — Matériel de prélèvement

Les prélèvements de sédiment sont faits avec une drague rectangulaire connue sous le nom de drague Charcot. Le filet habituel est remplacé par une toile très fine qui se colmate vite et retient les particules les plus fines du sol; la durée du dragage est courte (1 à 2 mn) afin d'éviter le lessivage de l'échantillon. Pour les stations côtières et particulièrement en face de l'Institut, nous avons utilisé un carottier. Il s'agit d'un tube en matière plastique dure (PVC) de 3 cm de diamètre, muni d'un bouchon de caoutchouc à son extrémité supérieure; le tube est enfoncé dans le sédiment jusqu'à 20 cm environ, et après bouchage il est retiré; il suffit ensuite d'enlever le bouchon pour recueillir la colonne de sédiment.

d. — Techniques d'analyse

L'échantillon est passé au tamis de 2 mm sous l'eau du robinet; les débris végétaux, les animaux vivants de grande taille et les débris de coquilles sont recueillis et pesés.

Le reste est mis à décanter pendant 24 heures, l'eau surnageante est siphonnée, puis l'échantillon pesé est mis dans une étuve à 100°C jusqu'à poids constant; il est pesé ensuite de nouveau dans le but de déterminer le pourcentage d'eau retenue. 100 g de cet échantillon sec sont passés sous le robinet au tamis de 0,2 mm, qui retient le sable, et au tamis de 0,02 mm, qui retient le sablon, le pourcentage de poudre est obtenu par différence (pourcentage des poudres = $100 - (\text{poids de sable} + \text{poids de sablon})$).

Un autre échantillon de 10 g de sédiment sec est mis dans un four de calcination à 800°C pendant 2 heures pour déterminer la teneur en matière organique, en tenant compte de la teneur en carbonates déterminée par un dosage préalable sur un autre échantillon de 10 g.

e. — Termes et abréviations utilisés

Nous reprenons pour certains types de substrat les termes utilisés par J.M. Pérès 1967).

DC : détritique côtier

DE : détritique envasé

VTC : vase terrigène côtière

SC : sable côtier, de diamètre compris entre 2 et 0,2 mm, riche en débris coquilliers fins

SCC : sable côtier colmaté

SCNC : sable côtier non colmaté, entraînable et lessivable

SFBC : sable à grains réguliers ayant un diamètre compris entre 0,2 et 0,2 mm

SA : sable d'origine alluviale

SG : sable grossier de 2 mm

dC : débris coquilliers

dV : débris végétaux

C : coralligène

CE : coralligène envasé.

3. RESULTATS OBTENUS

a. — Aspect granulométrique

Les résultats présentés dans les tableaux analytiques 8 à 23 représentent des moyennes saisonnières. La classification granulométrique adoptée est la suivante :

sable : particules dont le diamètre est compris entre 2 et 0,2 mm;

sablon : particules dont le diamètre est compris entre 0,2 et 0,02 mm;

poudres : particules de diamètre inférieur à 0,02 mm.

Ces tableaux donnent les résultats pour chacune des stations. Pour la clarté de l'exposé, nous avons groupé les stations selon leurs affinités géographiques. Nous distinguerons donc les régions suivantes :

cap Farina — cap Kamarth;

cap Kamarth — cap Carthage;

cap Carthage — La Goulette;

La Goulette — Ez-Zahra;

Ez-Zahra — Ras Fortas;

Ras Fortas — Ras Daoud.

Nous avons considéré à l'intérieur de chaque région :

les stations côtières situées entre 0 et 10 m;

les stations intermédiaires situées entre 10 et 20 m;

les stations profondes situées au delà de 20 m.

De cap Farina à Kamarth (tableaux 8-9-10). Quoique nous ayons étudié assez sommairement la portion de côte comprise entre cap Farina et l'embouchure de la Medjerdah, il semble qu'elle échappe à l'influence directe de l'oued Medjerdah. La côte étant abrupte dans son ensemble, le fond, rocheux à l'origine, est parsemé d'éboulis.

Le sable côtier, fortement coquillier et propre, couvre le fond originel et disparaît progressivement à son tour, au large,

TABLEAUX 8-9-10

*Moyennes granulométriques saisonnières du substrat
dans la région comprise entre cap Farina et cap Kamarth
(Stations : côtières — intermédiaires — profondes)*

— Stations côtières								
Stations	Profondeurs	Saison pluvieuse				Saison sèche		
		Particules > 2 m/m	Moyennes en %			Moyennes en %		
			Sable	Sablon	Poudres	Sable	Sablon	Poudres
1	6	SG + dv : Caulerpes et Cladocères	30	42	28	5	32	63
3	4	dv : Caulerpes	0	10	90	5,5	20	74,5
4	5	dc + dv —	1	12	87	20	63	17
Moyennes annuelles			3,7	21	75,3	10,15	30,15	59,7
— Stations intermédiaires								
2	20	—	1	19	80	1	30	69
5	15	dc + dv	—	10	90	6	76	28
7	20	dv + dc	—	6	94	3,5	45	51,5
Moyennes annuelles			0,3	12	87,7	3,5	40,7	55,8
— Stations profondes								
6	25	dv + dc	—	3	97	—	3,5	96,5
Moyennes annuelles			—	3	97	—	3,5	96,5

sous du sable fin d'origine alluviale, et vers 25 m sous la V.T.C. qui couvre tout le milieu du golfe (fig. 4).

De l'embouchure à Cap Kamarth ou région d'influence de la Medjerdah (stations 1 à 7), l'action alluvionnante de la rivière se manifeste d'une façon directe et plus ou moins permanente suivant la disposition géographique des points étudiés.

Le débit solide subit une décantation différentielle : galets, gros gravier et sable grossier dans le delta, sable fin et poudres restant en suspension et se déposant plus loin. Cependant, dans le cas de la Medjerdah et en dehors des grandes crues, la période pluvieuse est caractérisée au niveau du delta (stations 1) par une grande accumulation d'éléments fins. Cela résulte de la nature du terrain marneux que traverse l'oued et du grand nombre de méandres qu'il décrit jusqu'à son embouchure, méandres qui ralentissent son cours. La dispersion des sédiments reste donc littorale. J. Pimenta attribue également ce fait aux vents N et NW qui provoquent des courants giratoires, dans la baie, lesquels ramènent les alluvions vers la côte. Seules les vases sont entraînées vers le large (stations 2, 5, 6, et 7).

Durant la saison pluvieuse, la région comprise entre l'embouchure et cap Kamarth se présente donc comme une bande littorale sableuse de 20 à 300 m de largeur, suivie au large par une zone de sable plus fin et de vase. Cette dernière s'étend jusqu'à l'isobathe de 20 m avec une proportion de plus en plus grande de poudres à mesure que l'on s'éloigne de la côte. A 20 m, le fond devient nettement vaseux.

Durant la saison sèche ce fond subit une certaine transformation qui consiste en la remise en suspension des poudres superficielles dans les stations côtières et intermédiaires, sauf pour la station 3 qui reste envasée toute l'année.

La station 1 connaît également un certain envasement dû au ralentissement du cours de l'oued. Pour le reste de la région, la bande littorale sableuse atteint l'isobathe de 15 m. La proportion de poudres dans le sédiment diminue (station 4 et 5) et ne reste importante qu'au delà de 25 m de profondeur. Au niveau du cap Kamarth, l'influence de l'oued est minime; c'est surtout du sable fin qui domine et couvre l'assise de sable coquillier jusqu'à 20 m de profondeur, durant toute l'année. L'envasement très superficiel ne dure, à Raoued, que quelques semaines, à la suite des grandes crues.

Ces résultats confirment, pour la saison sèche, les conclusions de P. Lubet et A. Azouz (1969). Nous avons cependant, grâce à des prélèvements continus, mis en évidence le cycle

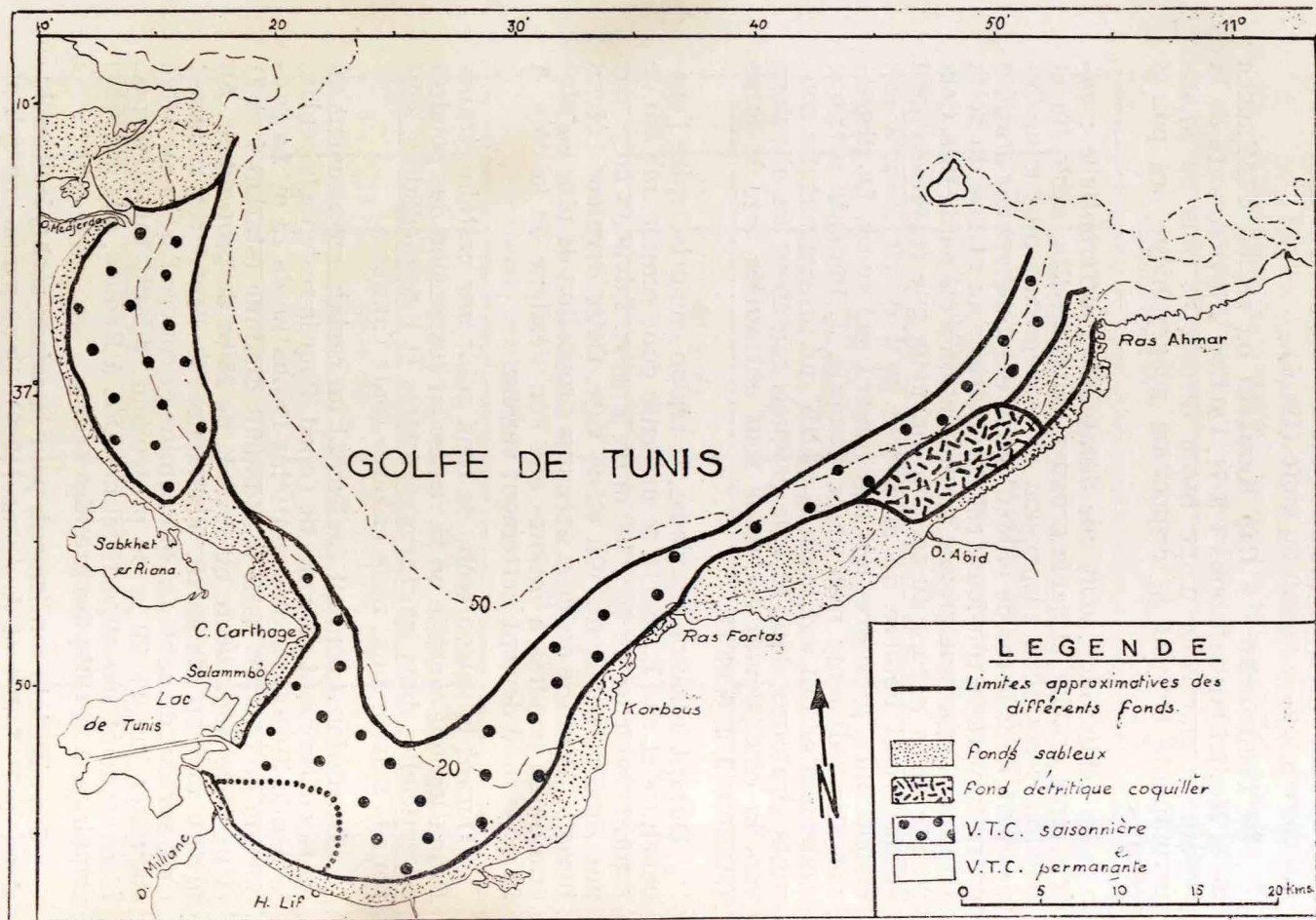


Fig. 4. La nature du substrat durant la saison des crues.

sédimentologique qui détermine la nature des peuplements phytiaux; nous avons observé en effet que la turbidité de l'eau provoquée par le déversement des eaux continentales en automne et en hiver, et la remise en suspension des éléments fins au printemps, réduisent la couche euphotique à quelques mètres seulement et s'opposent à l'installation des espèces benthiques exigeantes en lumière.

L'envasement périodique de la région est de nature à gêner l'activité photosynthétique des végétaux et à réduire la perméabilité du substrat. Tous ces facteurs aboutissent à l'installation d'espèces végétales adaptées à ces conditions très spéciales.

De cap Kamarth à cap Carthage : région occidentale à faible influence des rivières (stations 11 à 21) tableaux 11-12).

TABLEAUX 11-12

*Moyennes granulométriques saisonnières du substrat
dans la région comprise entre cap Kamarth et cap Carthage
(Stations : côtières — intermédiaires)*

— Stations côtières								
Stations	Profondeurs	Saison pluvieuse			Saison sèche			
		Particules > 2 m/m.	Moyennes en %			Moyennes en %		
			Sable	Sablon	Poudres	Sable	Sablon	Poudres
8	8	SG + dc + dv	22,7	63	10,3	20	80	—
Moyennes annuelles			22,7	63	10,3	20	80	—
— Stations intermédiaires								
9	15	dc + dv	15	75	10	7	78	15
10	20	dv	7,5	77	15,5	5	73	22
Moyennes annuelles			11,25	76	12,75	6	75,5	18,5

L'action de la Medjerdah, au nord, et de Méliane, au sud, n'affecte qu'accidentellement la granulométrie du fond, lors des grandes crues par exemple. Ici, les vases colloïdales, res-

tant longtemps en suspension, sont seules susceptibles d'arriver et décantent lentement en couvrant le substrat d'une couche relativement mince, couche qui sera remise en suspension par les vagues et acheminées au fur et à mesure vers l'intérieur du golfe pendant la saison sèche.

Cette région est protégée, des vents du nord par la colline de Kamarth, et de l'influence de l'oued Méliane par le tombolo de Carthage. Seuls les courants venant du large sont de nature à ramener, vers la côte, du sable fin alluvial ou de la vase restée en suspension. Ces courants, de même nature que ceux décrits plus hauts, provoquent une turbidité et un déplacement, parfois importants, de sable, rendant la topographie du fond instable. Ceci est également le cas pour toute la zone littorale de la côte occidentale.

Au niveau des deux caps, un sable côtier, riche en débris coquilliers, fait suite aux éboulis qui couvrent une bande côtière, d'une cinquantaine de mètres de largeur environ. Il s'agit d'un sable grossier de nature calcaire et provenant de la dégradation de la roche miocène (cap Carthage) et pliocène (cap Kamarth). Au large, s'étend un sable côtier bien calibré plus ou moins mélangé à un sable fin d'origine alluviale. A 10 m de profondeur, c'est un sable fin bien calibré qui domine et l'envasement n'intervient qu'à 20 m.

Entre les deux caps, la côte est basse, sableuse, le fond est également sableux, riche en débris coquilliers. A 15 m de profondeur, au large de La Marsa, il existe une zone d'accumulation de vase (station 15), qui correspond au parcours d'un courant NE visible, en hiver, par la trainée d'eau boueuse qui le trace depuis la Medjerdah. Ce cordon de vase permanente, situé à une assez faible profondeur, a fait penser à P. Lubet et A. Azouz (1969) que la baie de La Marsa était complètement envasée, alors que ce phénomène n'est que très localisé.

De cap Carthage à Ez-Zahra (tableaux 13-14-15-16-17).

Les phénomènes sédimentologiques dans la partie sud du golfe se présentent sous un aspect différent de celui observé dans la région de la Medjerdah. Il s'agit ici d'une région abritée des grands vents hivernaux.

Les vents saisonniers estivaux, de direction NE, créent, cependant, des courants locaux de direction E-W. et S-N. et de ce fait, le débit solide de l'oued Méliane subit un transport vers le nord.

Au niveau de cap Carthage, ce flux subit une déviation vers le SE et les parties, restées en suspension, finissent par

TABLEAUX 13-14-15

*Moyennes granulométriques saisonnières du substrat
dans la région comprise entre cap Carthage et La Goulette*

(Stations : côtières — intermédiaires — profondes)

— Stations côtières								
Stations	Profondeurs	Saison pluvieuse				Saison sèche		
		Particules > 2 m/m	Moyennes en %			Moyennes en %		
			Sable	Sablon	Poudres	Sable	Sablon	Poudres
11	5	Fond rocheux, légèrement ensablé						
12	10	— id —						
13	5	d.c. abondants	2,5	72,5	2,5	16,5	83	0,5
14	10	d.c. assez abondants	80	20	—	22	76	2
16	10	Fond rocheux, couvert de végétation						
Moyennes annuelles			41,25	57,5	1,25	14,25	84,5	1,25
— Stations intermédiaires								
15	20	—	—	1	99	2	27	71
17	15	Caulerpes et coquilles	3,1	96,4	0,5	4	96	—
18	20	d.c. abondants	4,4	85,6	10	7,2	90	2,8
Moyennes annuelles			2,5	61	36,5	4,3	71	24,7
— Stations profondes								
19	25	d.c. assez abondants	66,2	27,5	6,3	65	20	15
20	30	d.c. abondants	5,5	23,5	71	1	17	82
21	50	Fond coralligène légèrement envasé en hiver et au printemps						
Moyennes annuelles			35,8	25,5	38,6	33	18,5	48,5

TABLEAUX 16-17

*Moyennes granulométriques saisonnières du substrat
dans la région comprise entre La Goulette et Ez-Zahra
(Stations : côtières — intermédiaires)*

— Stations côtières								
Stations	Profondeurs	Saison pluvieuse				Saison sèche		
		Particules > 2 m/m	Moyennes en %			Moyennes en %		
			Sable	Sablon	Poudres	Sable	Sablon	Poudres
22	1	d.c. peu abondant	71	26,5	0,5	54	36	10
23	5	d.v.	1	56	43	8,5	87	4,5
24	10	d.v.	3,2	31	65,8	8,5	77,5	14
25	8	—	2	15	83	19	80	1
29	3		15	5	80	10,5	40	49,5
30	2	galets	78	20	2	46,5	20	33,5
31	2	—	2	11	87	11	82	7
32	5	d.v.	1	42	57	13	21	66
33	5	d.v.	6	80	14	7,5	90	2,5
Moyennes annuelles			20	31,8	48,0	19,8	59,2	20,9

— Stations intermédiaires								
26	13	d.v.	0,15	46	53,5	12	70	8
27	18	—	0,4	6,2	93,4	3,8	32,8	63,6
28	20	—	0	4	96	0	2	98
Moyennes annuelles			0,3	18,7	80	5,3	35	59,7

décanter au milieu du golfe (station 28). Au niveau de l'embouchure (station 30), le courant est très fort au moment des crues. Seuls les galets et le sable grossier s'accumulent dans une sorte de chenal d'une vingtaine de mètres de large et d'un demi-mille environ de long. De chaque côté de ce chenal, il se produit une grande accumulation de sable alluvial. Ce sable propre est réparti, au fur et à mesure de son accumulation, devant l'embouchure, sur l'ensemble du delta.

De chaque côté de ce delta, des éléments plus fins se déposent, en grande quantité, durant toute la saison pluvieuse; il s'agit de VTC au sud du port de La Goulette et au large de l'isobathe de 3 m, et de SCBC, le long de la frange côtière. Durant la saison sèche, le débit de l'oued est très réduit. La région du delta s'envase, le substrat côtier subit un nettoyage superficiel avec une remise en suspension des vases. Ce phénomène crée une turbidité permanente. Les pêcheurs assurent, à ce propos, n'avoir jamais vu le fond dans ce secteur du golfe. Cette remise en suspension, n'intéresse que les fonds peu profonds (15 m environ) et les stations non abritées (22 à 25, 31 et 32).

Nos conclusions concordent avec celles de L. Chambost pour la région de Salammbô, avec la différence que, d'après nous, la vase côtière provenant du sud couvre le fond jusqu'à cap Carthage en hiver. A la fin de l'été, par contre, elle se limite au sud de La Goulette et aux profondeurs supérieures à 15 m dans la région de Khéreddine, Salammbô et Carthage. Ces mêmes conclusions diffèrent, par contre, de celles de P. Lubet et A. Azouz (1969) en ce qui concerne la tendance très nette à l'envasement au sud de La Goulette, non mentionnée dans leur travail.

De Ez-Zahra à Ras Fortas (tableaux 18-19-20).

Cette partie du golfe, comme nous l'avons déjà mentionné, échappe à l'alluvionnement direct; le faible envasement côtier, en période pluvieuse, est dû à un transport superficiel en suspension, à partir de Méliane, des éléments fins qui décantent occasionnellement au large de Hammam-Lif et de Soliman. Ce fait confère au substrat une granulométrie stable (stations 34 à 43). La richesse en débris coquilliers de cette région est remarquable. Ces débris constituent 65 % du sable côtier surtout au niveau de l'isobathe de 10 m; ce sont des morceaux de coquilles et des coquilles complètes de gastéropodes qui recouvrent le fond, notamment les mattes à Posidonies. Plus au large, le détritique coquillier disparaît de plus en plus, sous le sable alluvial en été, sous la vase terrigène côtière en saison pluvieuse. La répartition des sédiments telle qu'elle a été pré-

TABLEAUX 18-19-20

*Moyennes granulométriques saisonnières du substrat
dans la région comprise entre Ez-Zahra et Ras Fortas
(Stations : côtières — intermédiaires — profondes)*

— Stations côtières								
Stations	Profondeurs	Saison pluvieuse				Saison sèche		
		Particules > 2 m/m	Moyennes en %			Moyennes en %		
			Sable	Sablon	Poudres	Sable	Sablon	Poudres
34	5	d.v.	11	81	8	15	84	1
36	5	d.v.	30	68	2	32	68	—
37	10	d.c.	Détritique coquillier pur sur sable côtier					
39	5	Gros cailloux et dv. + dc.	Fond rocheux couvert de végétation					
Moyennes annuelles			17	78	5	19,3	80,4	0,3
— Stations intermédiaires								
35	12	d.v. + d.c.	—	50	50	2	89	9
40	15		3,1	92,4	4,5	4	95	1
41	16	SG. + d.c.	3	93	4	2,5	97	0,5
Moyennes annuelles			2	78,5	19,5	2,8	93,7	3,5
— Stations profondes								
38	25		d.v.	65	35	—	62	38
42	25	Débris du coralligène	Coralligène légèrement envasé			Coralligène propre		

sentée par P. Lubet et A. Azouz (1969) correspond dans son ensemble, et pour la saison estivale seulement, à la nôtre.

De Ras Fortas à Ras Ahmar : région sous influence du large.

Dans cette région, le fond présente 3 faciès nettement délimités.

Un fond sableux entre Ras Fortas et l'embouchure de l'oued Abid couvre une large bande littorale entre 0 et 35 m de profondeur. Il s'agit d'un sable coquillier blanc propre (67 % de débris de coquilles) non colmaté. Au large de cette bande, on voit apparaître un précoraligène légèrement envasé (station 54). Ce précoraligène est séparé de la bande de sable par une étroite ceinture de vase côtière de couleur jaunâtre (station 53); il s'agit d'éléments fins provenant probablement de la côte et qui ont été entraînés à ce niveau, où ils sont mélangés au sable coquillier.

Un fond détritique coquillier et délimité au sud par l'embouchure de l'Oued Abid et par Ras Raorab au nord. Les Posidonies forment ici la prairie la plus dense du golfe. Le substrat originellement sableux disparaît sous les coquilles, complètes ou en débris de Gastéropodes et de Lamellibranches. Ce détritique coquillier, intimement lié à la présence antérieure ou actuelle des Posidonies, disparaît au large, vers 30 m, limite de l'extension en profondeur de la prairie. Une formation coralligène à Mélobésiées, peuplée d'algues sciaphylles telles que : *Udotea petiolata*, *Peyssonelia rubra* et *Peyssonelia harveyana*, s'étend entre 30 et 40 m de profondeur et disparaît sous un envasement de plus en plus épais vers le milieu du golfe.

Un fond à gros sable apparaît à la limite des plages de sable du sud, et correspond à la côte abrupte comprise entre Ras Raorab et Ras Ahmar. Le substrat est constitué essentiellement d'un sable grossier calcaire à *Amphyoxus*, et provenant certainement de la dégradation de la roche côtière. Ce sable grossier, faiblement coquillier s'étend entre la côte et l'isobathe de 20 m. Au large, il s'enrichit en éléments plus fins.

A 50 m, un coralligène légèrement vaseux apparaît, faisant suite à celui signalé au large du fond coquillier. Cette succession en longueur et en profondeur des différents fonds que nous signalons pour la première fois, paraît avoir échappé à plusieurs auteurs et notamment Ed. Le Danois (1925) et P. Lubet et A. Azouz (1969).

De Ras Fortas à Ras Daoud (tableaux 21-22-23).

Cette région peut être subdivisée du point de vue structural en 3 fonds bien distincts :

- fond sableux;
- fond détritique coquillier;
- fond détritique côtier.

b. — Richesse en matière organique

La richesse en matière organique a été déterminée par calcination à 800°C pendant une heure.

La précision des résultats n'a qu'une valeur relative, mais suffira, dans le cadre de nos études écologiques.

Les prélèvements ont été faits à des dates différentes, à raison d'un prélèvement par station et par an. La station de Salammbô a été prise comme témoin pour étudier la dynamique de la richesse en matière organique du substrat. Des échantillons mensuels ou bimensuels, suivant le cas, ont été étudiés dans cette zone.

Le choix des stations a été fait de façon à permettre une description générale de la répartition de la matière organique, en fonction des régions et de la profondeur. Les variations de la richesse organique du substrat, en fonction du temps, ont été étudiées dans le cas de la station de Salammbô.

La distribution géographique et bathymétrique de la teneur en matière organique figure au tableau 24, et sa variation saisonnière au tableau 25.

Cette teneur est donc variable; elle est faible aux abords des embouchures des oueds et dans les endroits à grand alluvionnement; elle est forte entre les mattes à Posidonies à cause probablement de l'accumulation des débris organiques à ce niveau.

Les zones riches en invertébrés marins ont une teneur exceptionnellement élevée en matière organique : les déchets du métabolisme de ces animaux et leur cadavres sont certainement la cause essentielle de cette richesse.

Pour la station de Salammbô, le taux de matière organique reste faible du moins en surface, au niveau du sable côtier. Ce sable, peu colmaté, subit un transport constant dû au flux et au reflux et se trouve de ce fait fortement lessivé. La période de grande sédimentation correspond à des teneurs très faibles (déc.-avril). Durant l'été, cette teneur augmente.

TABLEAUX 21-22-23

Moyennes granulométriques saisonnières du substrat
dans la région comprise entre Ras Fortas et Ras Daoud
(Fonds : sableux — détritique coquillier — gros sable)

— Fonds sableux								
Stations	Profondeurs	Saison pluvieuse				Saison sèche		
		Particules > 2 m/m	Moyennes en %			Moyennes en %		
			Sable	Sablon	Poudres	Sable	Sablon	Poudres
44 ↓ 53	0 25 35	Feuilles de cymodocées Feuilles de caulerpes + feuilles cymodocées	65 12,5	35 33	— 54,5	60 11	40 35	— 54
54	35 ↓ 40	Feuilles de caulerpes Précoralligène	— Fond dur	12 Fond dur	88 Fond dur	— Fond dur	15 Fond dur	85 Fond dur
— Fonds détritiques coquillier								
55 56 58 60 61	7 ↓ ↓ 20	Il s'agit principalement de coquilles de gastéropodes 75 % 70 %	17	5	2	21	7	4
59 57	27 ↓ 30	Précoralligène sur rhizomes de Posidonies						
62	50 ↓ 30	Coralligène envasé						
— Fonds gros sable								
63 65 66 67	7 ↓ ↓ 20	Il s'agit principalement de gros sable 75 % + débris coquille 10 % GS : 95 %	22 5 %	3 0	0 0	— —	— —	— —
64	↓ 30	Précoralligène sur rhizomes de Posidonies						

TABLEAU 24

*Distribution géographique et bathymétrique
de la teneur en matière organique dans quelques stations du golfe*

Stations	Profondeurs (en m)	Date de prélève- ment	Nature du fond	Matière organique en %	Recouvrement animal ou végétal du fond
1	6	12-69	SA	2	
2	20	12-69	VTC>SFBC	3	
3	15		VTC>SFBC	2,2	
11	5 m	3-70	SC/FR	2,2	
12	10 m	3-70	SFBC SC/FR	1,7	Caulerpes
15	20 m	3-70	SFBS VTC	1,5	
13	5 m	6-69	SEBC/DC	1,6	
14	10 m	6-69	SEBC/DC	3,2	
16	10 m	3-70	SC/FR	1,4	Caulerpes
17	15 m	3-70	SFBC/DC	1,5	Caulerpes
18	20 m	3-70	SFBC/DC	1,2	Caulerpes
19	25 m	3-70	DC	1,5	Caulerpes
22	1 m	6-69	SFBC SC DC	1,3	Cymodocées
23	5 m	3-70	SFBC VTC	2,0	Caulerpes et Cymodocées
24	10 m	3-70	VTC SFBC	1,3	Caulerpes
25	8 m	3-70	DV + VTC	1,3	Caulerpes + quelques cymodocées
26	13 m	3-70	SFBC = VTC	8	Invertébrés marins abondants
27	18 m	3-70	VTC/DC	8,8	Invertébrés marins abondants
28	20 m	12-69	VTC SFBC	3,0	Caulerpes
29	3 m	3-70	VTC SA	3,0	
30	2 m	3-70	G + dc + SA	0,1	
31	2 m	12-69	Sableux	1,8	<i>Enteromorpha</i> et <i>Cladophora</i>
33	3 m	12-69	Vaseux	3,8	Cymodocées et caulerpes
36	5 m	7-69	SFBC SC	2,00	Intermattes à caulerpes
37	10 m	7-69	dc SC	4 ?	Intermattes riches en coquilles mortes
40	15 m	6-69	SFBC/FR	2,0	Intermattes à cau'erpes et cymodocées
41	16 m	3-69	SFBC/DC	1,1	
20	30 m		VTC/DC	1,7	Caulerpes
21	50 m	12-69	Coralligène envasé	1 (vase)	Coralligène : Melobésiées, Gorgognes etc.

TABLEAU 25

Variations de la teneur en matière organique du substrat

Station de Salammbô profondeur 0,5 — 1 m

Date	Nature du fond	Teneurs en M.O.
17-10-69 ^{re}	SC>SFBC	2,5
8-10-69	SC>SFBC>VTC	2,5
6-11-69	SC>VTC>SFBC	1,67
25-11-69	SC>SFBC>VTC	0,50
Février 69	SC>SFBC	0,1
Avril 69	SC>SFBC	0,2
Juin 69	SFBC>SC	1,3

CHAPITRE TROIS

HYDROLOGIE DU GOLFE DE TUNIS

L'hydrologie du golfe de Tunis n'a pas jusqu'à ce jour, fait l'objet d'une étude continue. Le travail de P. Lubet et A. Azouz (1969) présente une excellente description des variations de la température et de la salinité en fonction de la profondeur et des saisons. Malheureusement aucune indication sur les zones littorales peu profondes n'a été donnée, les stations du golfe établies par les auteurs n'intéressant que la région du golfe située au delà de l'isobathe de 20 m. Les résultats de ce travail ne peuvent, dans ces conditions, être suffisants pour notre étude. L'écologie des Phanérogames marines nécessite une étude plus détaillée et nous essayerons de présenter les variations de température et de salinité le long de la zone côtière afin d'en dégager l'influence sur la vie et le développement des peuplements de ces végétaux.

La zone côtière n'a jamais été étudiée d'une façon complète. P. Freundler et M. Pilaud (1930, 1932), donnent la chlorinité de l'eau dans la région de Salammbô au mois de janvier (20, 475 ?). L. Chambost (1928) signale que les variations saisonnières de température sont sensibles dans les régions côtières et que la salinité est la même, à un moment donné, entre La Goulette et Salammbô, mais il ne donne aucune valeur de cette salinité. Son travail, comme ceux des autres auteurs, n'intéresse donc qu'une région bien limitée, à un moment bien précis de l'année. Nous nous proposons de présenter dans cette étude une analyse plus étendue dans le temps et dans l'espace de l'hydrologie du golfe.

1. MATERIEL ET METHODES

a. — Couverture par les stations

Les prélèvements d'eau et de sédiments ont été faits en même temps, les stations d'hydrologie sont donc celles indiquées sur la carte (fig. 1).

b. — Matériel pour le prélèvement de l'eau

La prise d'échantillons d'eau de mer dans les herbiers à Phanérogames marines présente un certain nombre de difficultés, du fait même qu'il faut prélever l'eau entre les feuilles et souvent au contact du fond, les bouteilles à renversement classiques se révèlent inutilisables pour de telles investigations. La bouteille conçue par Fjrralie en 1958 présente le grave inconvénient d'être gênée par les feuilles des plantes lors de la fermeture des clapets, et

de ne pouvoir prélever l'eau au contact du fond. Pour éviter ces inconvénients Danoy et A. Kerneis (1953) ont imaginé et mis au point, à Banyuls-sur-Mer, une bouteille à clapets, munie d'un socle qui écarte les feuilles et permet une fermeture convenable. Nous n'avons malheureusement pas pu acquérir cette bouteille.

Nous avons, dans un premier stade, adopté une pompe à manivelle connue, dans le commerce, sous le nom de pompe « WAP ». Le tuyau d'aspiration est muni d'un lest en plomb. La forme hydrodynamique du lest et le faible débit de la pompe nous permettent d'atteindre le fond et d'éviter les phénomènes de turbulence. Ce système présente cependant l'inconvénient de ne pas pouvoir travailler au delà de 7 m de profondeur. Nous avons donc dû au delà de 7 m utiliser un salinomètre à pile muni d'une sonde pouvant descendre par un câble jusqu'à 100 m de profondeur. Cet appareil nous a permis de prospecter les zones les plus profondes du golfe. D'usage facile, ce salinomètre permet de mesurer la salinité et la température *in situ*.

c. — Méthodes d'analyse

pH : pH mètre électrique de type Heito à électrode de verre;

salinité : Méthode de Mohr-Knudsen et salinomètre électronique;

température : Thermomètre ordinaire gradué au 1/10 de degré centigrade et thermomètre électronique intégré au salinomètre.

2. RESULTATS

a. — Le pH

Selon P. Reiss et E. Vellinger (1929), il varie entre 8,30 et 8,08 suivant les endroits et les saisons. Nous avons, pour notre part mesuré le pH de l'eau en face de l'INSTOP (station 22). Les résultats sont donnés au tableau 26.

TABLEAU 26

Valeurs du pH à la station 22 (Octobre 1969 — Janvier 1970)

	8-10 69	17-10 69	25-10 69	6-11 69	25-11 69	9-12 69	16-12 69	23-12 69	31-12 69	9-1 70	14-1 70	Moy.
pH	7,40	7,40	7,20	7,50	7,60	7,35	7,60	7,70	7,10	7,20	7,10	7,37

Il y a une différence appréciable entre nos résultats et ceux de P. Reiss et E. Vellinger. Nous supposons que la différence est due aux deux méthodes différentes d'analyse puisqu'il est peu probable que le pH ait varié de cet ordre en

40 années. Pour plus de certitude, nous avons confirmé nos résultats en utilisant un autre appareil (pH-mètre Beckmann).

b. — La salinité

Les tableaux 27 à 34 indiquent les salinités du fond, et de la surface. La salinité du fond est celle où vivent les végétaux benthiques. Celle de la surface est donnée à titre de comparaison.

Les mois de prélèvement ont été choisis de manière à connaître les variations saisonnières de la salinité.

Dans le secteur NW du golfe, l'influence de la Medjerdah se traduit par un abaissement de la salinité surtout au moment des crues. Dans le secteur du delta, le régime permanent de la rivière maintient une faible salinité durant toute l'année (station 2). Les valeurs de 35‰ sont fréquentes en hiver dans la région de l'embouchure. En été l'apport fluvial ne compense pas l'apport d'eau du large et on enregistre des salinités supérieures à 37‰ (stations 2, 5, 8 et 10 — tableau 27).

Notons également, le long de toute cette côte comprise entre l'embouchure de l'oued et cap Kamarth, la différence entre la salinité du fond et celle de la surface. Celle-ci se trouve légèrement plus élevée (stations 2 et 5).

Ce phénomène peut s'expliquer par une plongée des eaux douces. Le vent NW qui souffle tangentiellement à la côte, crée un up-welling compensé au large par une plongée des eaux de surface.

Cette hypothèse est tout à fait compatible avec les observations de Pimienta (1959) relatives à un courant de fond qui a tendance à ramener les alluvions du large vers la côte (cf. chapitre III).

La différence de salinité entre le fond et la surface peut être également due au passage, à ce niveau, du courant atlantique dont des eaux plus froides circulent en profondeur, (Guyot 1951).

La zone d'influence de la Medjerdah a donc une salinité faible, variant autour de 37‰. L'année 1969 a été spécialement pluvieuse et marquée par des grandes crues qui ont abaissé les moyennes de salinité. Durant l'année 1968 la salinité a varié entre 36,5 et 37,5 alors qu'elle a atteint en 1969 des valeurs inférieures à 36‰. dans la baie de La Marsa (stations 13, 14 et 15, tableau 28), l'influence de la Medjerdah se fait sentir particulièrement en surface où la salinité dépasse rarement 37‰. Protégée du nord et du sud, cette baie reçoit l'eau

TABLEAU 27

Variations de la Salinité (‰)
Région d'influence de la Medjerdah

(Station 2, années 1968-1970; Stations 5-8-10, année 1969)

Stations Mois	2		5		8		10	
	Surface	Fond 20 m	Surface	Fond 15 m	Surface	Fond 8 m	Surface	Fond 20 m
Janvier	36,73	36,91	37,10	37,22	37,07	37,08	36,95	36,80
Février	—	—	—	—	—	—	—	—
Mars	37,11	36,88	—	—	—	—	—	—
Avril	37,01	37,01	36,98	37,00	36,83	36,83	36,79	36,89
Mai	37,03	36,93	—	—	—	—	—	—
Juin	36,94	36,98	—	—	—	—	—	—
Juillet	37,24	37,22	—	—	—	—	—	—
Août	—	—	—	—	—	—	—	—
Septembre	37,36	37,19	37,47	37,38	37,46	37,46	37,25	37,36
Octobre	37,19	37,43	—	—	—	—	—	—
Novembre	37,31	37,34	—	—	—	—	—	—
Décembre	36,30	36,01	36,27	36,19	36,32	36,31	36,29	36,24
Moyennes Annuelles	37,02	36,99	36,95	36,94	36,86	36,92	36,82	36,82

TABLEAU 28

Variations de la Salinité (‰)
Zone occidentale de faible influence des oueds
(Stations 13-14-15, année 1969)

Stations	Avril		Juillet		Décembre	
	Surface	Fond	Surface	Fond	Surface	Fond
13	36,71	36,72	37,02	37,05	36,66	36,66
14	36,82	36,91	37,02	37,14	36,38	36,37
15	36,82	36,84	36,99	37,03	36,48	36,81

douce du large qui échappe au mixage et qui se trouve entraînée en surface, au large de La Marsa. Les vents du nord ont alors tendance à ramener cette eau vers la côte. Au sud du cap Carthage, l'influence de Méliane se traduit également par un abaissement de la salinité de surface. Cette influence est très marquée au niveau de Salammbô et s'atténue à cap Carthage que nous considérons comme limite nord de l'influence de cet oued. Le fait que la dessalure se fasse autant sentir à une telle distance de l'oued, alors qu'elle est beaucoup moindre aux environs immédiats de l'embouchure, prouve l'existence d'un courant de direction S-N dans cette région.

Un autre fait remarquable est, que malgré un débit plus faible que celui de la Medjerdah, le Méliane a une action immédiate plus grande (tableau 29). Alors que les eaux et les alluvions de la première sont dispersées par la grande agitation qui règne dans la région NW du golfe, ceux de la deuxième, du fait du mode abrité du secteur où ces eaux se déversent, affectent d'une façon plus marquée la partie SW du golfe.

A titre d'exemple nous avons relevé d'une façon continue les salinités de la station 22 (tableau 32).

L'oued Méliane se caractérise donc par des crues brutales avec un débit souvent supérieur à 200 m³/seconde (A. Jauzein, 1967). Ces crues ont une action immédiate sur la morphologie du fond (cf. chapitre 2) et sur la salinité de l'eau, laquelle subit une chute spectaculaire et rapide de l'ordre de 4‰ environ. Ces variations brusques ne semblent pas affecter la croissance des Cymodocées et des Posidonies. Ces plantes connaissent au contraire durant la saison pluvieuse une phase de croissance rapide.

Au large, par contre (station 28) la salinité ne subit pas de telles fluctuations (tableau 33).

Plus au large encore (station 21) l'action dessalante des eaux fluviales devient pratiquement nulle (tableau 34).

Ainsi entre cap Carthage et le port de La Goulette la salinité est tributaire du débit de l'oued Méliane dont les eaux subissent un transport vers le nord, ce qui maintient des valeurs de cette salinité faibles et variables.

Au sud de La Goulette et dans toute la partie sud-ouest du golfe, les quantités énormes d'eau douce déversées par le Méliane provoquent une grande dilution de l'eau de Mer. Cette dilution est plus régulière et plus persistante qu'à Salammbô. Seule la période estivale (juin-septembre) connaît des salinités supérieures à 37‰. D'ores et déjà nous pouvons noter ici la présence de *Posidonia oceanica* et de *Cymodocea nodosa*

TABLEAU 29

*Variations de la Salinité (‰)
Zone d'influence de l'oued Méliane
Stations 16-22-29-30-31-32, année 1969)*

Stations	Juillet		Septembre		Décembre	
	Surface	Fond	Surface	Fond	Surface	Fond
16 (10 m)	37,13	37,03	37,22	37,35	36,96	36,92
22 (0,5 m)	37,66	—	36,50	—	35,41	—
29 (2 m)	37,60	—	37,08	—	36,51	—
30 (2 m)	37,80	37,90	36,80	37,06	35,55	37,00
31 (2 m)	37,48	37,90	35,48	36,65	36,22	36,63
32 (5 m)	37,80	37,94	36,10	36,67	36,30	36,32
Moyennes	37,40	37,69	36,36	36,98	36,15	36,71

qui arrivent à survivre, sous de telles conditions, contrairement aux conclusions de certains auteurs relatives à la sténohalie de ces deux espèces.

A l'est de l'embouchure de l'oued, la salinité semble être moins fluctuante. Elle conserve une certaine stabilité, perturbée de temps à autre par une crue violente. Les salinités relevées en 1970, année moyennement pluvieuse, sont plus élevées qu'en 1969 et oscillent entre 37 et 38‰.

Le long de la côte orientale, et à partir de Sidi Erraïs, (tableau 30) l'influence fluviale devient nulle. Les basses salinités enregistrées en été au nord de Ras Fortas sont dues à

TABLEAU 30

Variations de la salinité (‰)

Zone orientale de faible influence

(Stations de Sidi Errais, année 1969)

	Avril		Juillet		Septembre		Décembre	
	Surface	Fond	Surface	Fond	Surface	Fond	Surface	Fond
36 (3 m)	36,82	36,83	37,53	37,50	37,45	37,46	36,31	36,31
37 (10 m)	36,83	36,82	37,53	37,49	37,44	37,46	36,30	36,33
38 (25 m)	36,93	36,89	37,53	37,51	37,46	37,71	36,28	36,47
Moyennes	36,86	36,84	37,53	37,50	37,45	37,57	36,37	36,37

des courants sous marins. En effet, aucun cours d'eau important ne peut être à l'origine de cet abaissement. Nous remarquons d'autre part dans ce secteur une salinité plus faible au fond qu'en surface (tableau 31). Ce phénomène est étonnant et ne peut, ici encore, être expliqué que par l'existence d'une nappe phréatique qui tend à diluer l'eau du fond ou du courant atlantique de retour qui longe la côte dans une direction S-N. Nous espérons que des océanographes s'intéresseront à ce phénomène et apporteront de plus grandes précisions à ce sujet.

TABLEAU 31

Variations de la salinité (‰)
Zone d'influence océanique
(Salinité de surface et de fond au NE du golfe)

Stations	Profondeur (en m)	Juin		
		Surface	Fond	
44	20	36,87	36,66	Zone à Cymodocées le substrat est un sable coquillier.
45	21	36,89	36,84	
46	12	36,88	36,69	
47	8	36,70	36,50	
50	12	36,80	36,50	
51	13	36,9	36,70	
52	25	36,74	36,62	
55	9	36,80	36,90	
57	35	36,94	36,70	
56	14	36,80	36,55	Zone à Posidonies jusqu'à 30m de profondeur. Le substrat est essentiellement un détritique très coquillier dans les intermattes.
58	9	36,93	36,76	
59	30	36,85	36,75	
60	8	36,85	36,50	
61	25	36,79	36,50	
62	48	37,00	36,85	
63	10	36,70	36,94	
64	25	36,89	36,75	
65	12	36,73	35,95	
66	19	36,76	36,55	
67	7,5	36,79	36,60	Fond sans végétation.
68	20	36,79	36,57	Cymodocées.

TABLEAU 32
Variations de la salinité (‰)
Station 22 (Salammbô) année 1969

Date	Salinités ‰	Remarques
9-1 24-1 3-2 11-2	36,40 36,53 36,38 36,26	Pluies hivernales faibles mais persistantes. La moyenne journalière de la pluviométrie est de l'ordre de 3 m/m.
13-4 23-4 18-5	36,82 36,85	Saison faiblement pluvieuse. Le débit de l'oued reste cependant supérieur à 20 m3/sec.
27-7	37,66	Saison sèche.
24-9 8-10 17-10 23-10 6-11 23-11 25-11 9-12 16-12 23-12 31-12	35,50 35,61 35,61 32,27 36,17 32,27 36,45 36,96 36,91 35,41 36,80	Saison des grandes pluies automnales avec crues brutales.

TABLEAU 33
Variations de la salinité (‰)
Station 28, année 1969

	Janv.	Mars	Avril	Mai	Juillet	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Moye.
Surf.	36,92	36,92	37,07	37,00	37,27	37,47	37,19	37,23	36,51	37,06
Fond 20 m	37	36,94	37,09	37,05	37,21	37,43	37,21	37,43	36,85	37,13

TABLEAU 34
Variations de la salinité (‰)
Station 21, année 1969

	Janv.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Sept.	Oct.	Novemb.
Surface	26,98	37,00	37,05	37,06	37,20	37,21	37,47	37,29	36,80
Fond 50 m	36,94	37,03	37,14	37,20	37,25	37,18	37,48	37,30	37,14

c. — La température

Le tableau 35 donne les minimums de température enregistrés en hiver et les maximums enregistrés en été dans certaines stations que nous pensons représentatives de l'ensemble du golfe.

La température dans l'ensemble du golfe, varie entre 13° et 28° ce qui correspond aux températures moyennes du bassin occidental de la Méditerranée.

L'amplitude thermique est maximale dans les régions abritées et les stations côtières. Elle est sensiblement réduite au large. En effet, dans les régions abritées et peu profondes, la température de l'eau a toujours tendance à se rapprocher de celle de l'air (absence de mélange ou faible profondeur). Celle-ci atteint en hiver des valeurs voisines de 5° C et dépasse 30° C en été. Au niveau des formations lagunaires, le récif barrière à Posidonies, en empêchant la libre circulation de l'eau entre la côte et le large, favorise l'écart thermique et des températures voisines de 11° en hiver et 30° en été sont enregistrées (stations 22). Dans le cas général, les valeurs moyennes mensuelles de la température de surface affichent un maximum de 25° C en juillet et un minimum de 14° C en mars. Celles du fond ne dépassent guère les 24° en été mais sont légèrement plus basses en hiver que celles de surface. Ces limites thermiques extrêmes, comme nous le verrons ultérieurement, sont parfaitement tolérables pour les deux Monocotylédones marines étudiées à savoir *Posidonia oceanica* et *Cymodocea nodosa*.

TABLEAU 35

*Minimums d'hiver et maximums d'été
des températures du golfe de Tunis (°C)*

— N W du golfe				
Stations	Mois	Minimums de température	Mois	Maximums
2	Janvier	13,8	Août	26
4	—	13,9	Août	27,2
10	Février	13,6	—	26,7
— Milieu du golfe				
28	Février	13,4	Août	26
21	Mai	14,2	Septembre	23,2
— S W du golfe				
25	Janvier	13	Août	26,8
— S E du golfe				
37	Février	13,2	Août	26,1
39	—	14,5	—	25,7
— N E du golfe				
44	Février	13,8	Août	25
47	Février	13,7	Août	24
48	—	14	—	24,1
51	—	13,7	—	24,8
53	—	14		24,2
56	—	13,6		23,9
62	Mars	14,2	Septembre	24,2

CHAPITRE QUATRE

REPARTITION ET DESCRIPTION DES HERBIERS A PHANEROGAMES MARINES

1. HISTORIQUE

Les posidonies se présentent comme des végétaux munis d'une tige souterraine garnie de racines souvent non ramifiées, les feuilles réunies en faisceaux sont rubanées. La densité du feuillage est telle qu'il joue un rôle important dans l'accumulation de sédiments véhiculés par l'eau de mer. Il s'ensuit une tendance à l'ensablement progressif de l'herbier qui réagit par une croissance verticale de ses rhizomes (R. Molinier et C. Zevaco., 1962). Le lacis de racines et de rhizomes et le sédiment qu'ils retiennent forment ce que les pêcheurs méditerranéens appellent « matre », cette formation, en vieillissant, se rapproche des zones superficielles, à tel point que l'extrémité des feuilles vient affleurer la surface de l'eau.

On peut assister ainsi à la formation d'un « récif barrière » de Posidonies jouant le double rôle de brise lame naturel et de filtre ne laissant passer à travers le feuillage que les particules sédimentaires les plus fines. Il en résulte l'isolement en arrière d'une formation lagunaire plus ou moins envasée (R. Molinier et J. Picard, 1952).

La répartition des Phanérogames marines, dans le golfe de Tunis, a fait l'objet d'un certain nombre d'études.

Ch. Ostenfeld en 1918, se référant aux travaux de Battandier et Trabut (1896), signale des Cymodocées et des Posidonies dans cette partie de la Méditerranée.

Ed. Le Danois, en 1925, remarque *Posidonia oceanica* au niveau de Sidi Erraïs; cet auteur ne signale que « pour mémoire ce faciès qui n'est représenté dans tout le secteur que par une tache d'herbiers à Posidonies dans le fond du golfe de Tunis ».

L'étude de L. Chambost (1928) limitée, malheureusement, à la région littorale, comprise entre cap Carthage et le port de La Goulette, comporte une description plus détaillée des herbiers à Phanérogames marines. L'auteur limite l'étendue des Posidonies, dans ces endroits, au sable pur retenu entre les pointements rocheux, à cap Carthage et à Salammbô. Plus au sud, entre le Kram et La Goulette, l'herbier s'étend jusqu'à 5 m de profondeur environ. Une année plus tard, J. Pottier (1929), signale la même plante dans la baie de La Marsa.

Signalons enfin, le travail de R. Molinier et J. Picard (1954) plus complet et moins localisé que les précédents, et qui mentionne des Posidonies en ceinture à cap Carthage avec, vers le rivage, une pelouse mixte à *Cymodocea nodosa* (abondante), *Zostera nana* (assez abondante) et *Caulerpa prolifera* (rare). Pour la région de Salammbô, du Kram et de Khéreddine, la localisation de l'herbier à Posidonies par ces deux auteurs correspond à celle de L. Chambost, exposée plus haut. Les entablements à Posidonies déterminent, comme à cap Carthage, une formation lagunaire peuplée de Cymodocées et de Caulerpes. Cette même formation est également retrouvée par R. Molinier et J. Picard (1954) à Sidi Rais où la prairie à *Posidonia oceanica*, signalée déjà par Ed. Le Danois (1925), est prospère. Les mattes sont séparées, dans cette région, par des chenaux, ou intermattes, lesquelles sont peuplées de Cymodocées et de Caulerpes. Au contact du rivage les Caulerpes sont absentes.

Ces différents travaux, à caractère uniquement descriptif, permettent de conclure à l'absence d'herbiers de fond à Posidonies dans la presque totalité de la partie sud du golfe de Tunis. Ce n'est qu'au niveau de Sidi Errais, que des conditions locales favorables encore inconnues ont permis l'établissement de *Posidonia oceanica* en profondeur.

Nous avons, dans un travail récent, (Ben Alaya, 1969) confirmé, dans son ensemble, cette répartition tout en élargissant les investigations à la côte nord-ouest. Nous avons cependant noté la présence de *Cymodocea nodosa* à des profondeurs plus grandes que celles déjà signalées. Dans la présente étude, nous nous proposons d'établir une carte floristique de l'ensemble du golfe et de mettre en relief les facteurs écologiques essentiels qui déterminent l'installation, l'expansion et le développement des prairies à Cymodocées et à Posidonies.

2. ETAT ACTUEL DE L'HERBIER (fig. 6)

a. — **Cap Farina — cap Kamarth** : région d'influence de la Medjerdah.

Cap Farina

Bien que non étudiée d'une façon précise, cette région se caractérise par un substrat sableux riche en débris coquilliers. Au bas de la falaise, le fond rocheux est couvert d'algues telles que : *Nemalion helminthoides*, *Enteromorpha intestinalis*, *Enteromorpha compressa*, *Cladophora rupestris*, *Ulva lactuca*, *Padina pavonia*, *Cystoseira abrotanifolia*, *Dictyota dichotoma*,

Dictyopteris polypodioides, *Ceramium elegans*, *Polysiphona elongata*, *Hypnea musciformis*, *Ulothrix consociata*, *Laurencia obtusa*, *Corallina officinalis*.

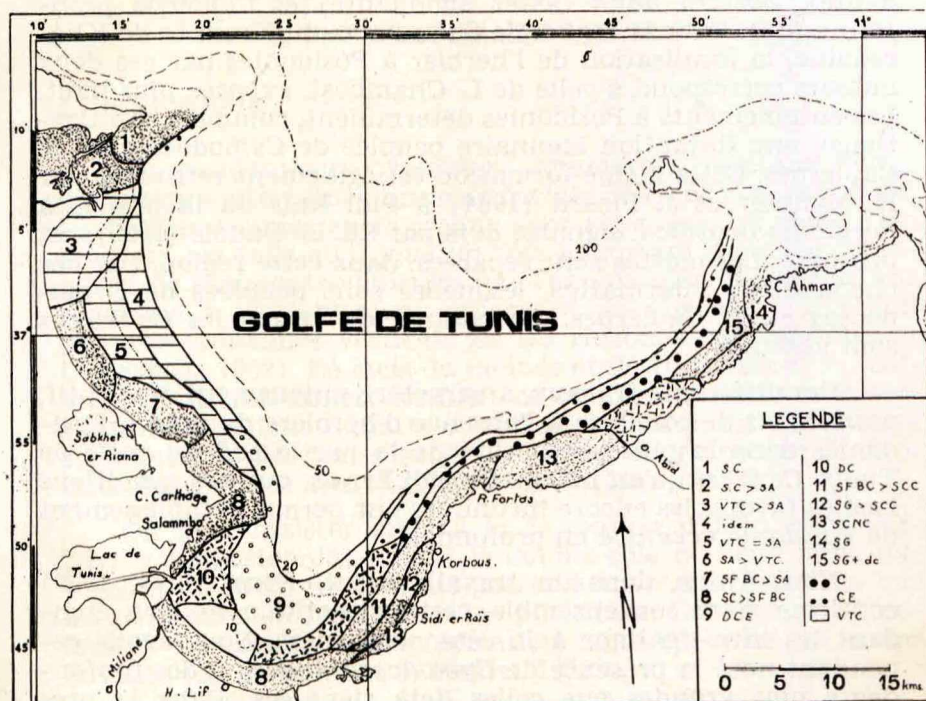


Fig. 5. La nature du substrat durant la saison des étiages.

La plupart de ces algues et notamment les nitrophiles (Ulves et Enteromorphes) se retrouvent le long de toute la côte, chaque fois qu'il y a un support solide quelconque permettant leur fixation : entablements rocheux, gros cailloux, coquilles etc..

Dans les interstices des blocs rocheux et au large de ceux-ci s'est établi sur le sable côtier colmaté retenu entre les roches ou accumulé au large, un peuplement à Posidonies, formant, dans le premier cas, des touffes isolées, et une prairie dense, dans le deuxième. Les rhizomes abritent plusieurs épiphytes : *Udotea petiolata*, *Zanardina prototypus* et *Peyssonelia rubra*. Cette prairie est en relation avec un herbier de profondeur dont la limite inférieure atteint 15 m de fond. Les Cymodocées occupent le rebord des mattes et le sable légèrement envasé du large jusqu'à 25 m de profondeur environ, où l'envasement devient permanent.

La baie de Ghar El Melh

Il s'agit de la région comprise entre cap Farina et le prolongement sableux de l'embouchure de l'oued. Elle continue vers la mer la lagune du même nom et est sujette à une grande accumulation de sable alluvial vaseux. Le lac et la baie sont peuplés essentiellement de *Cymodocea nodosa*. Quelques *Zostera nana* et *Caulerpa prolifera* sont observables dans les recoins particulièrement calmes et pollués de la lagune. Dans

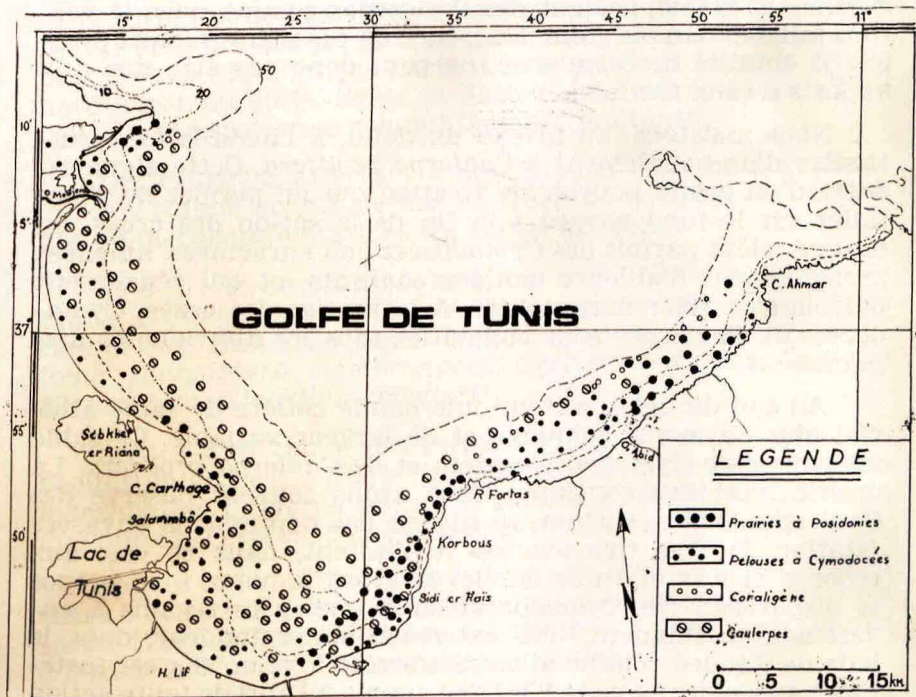


Fig. 6. Etat actuel de l'herbier.

la baie elle même, les *Caulerpes* deviennent abondantes au delà de 20 m de profondeur où l'envasement défavorise les *Cymodocées*.

Le Delta de la Medjerdah et la baie de Raoued

Limitée au sud par le cap Kamarth, cette région est sous l'influence directe de la Medjerdah. Les quantités énormes d'alluvions et d'eaux déversés par la rivière confèrent à cette partie du golfe un aspect granulométrique et hydrologique particulier. Ainsi le delta a un fond instable, soumis périodi-

téropodes dont *Cardium paucicostatum*, *Tellina tenuis*, *Lutaria lutaria*, *Fusus* sp., *Lucina lactea*, *Chlamys varia*.

Au delà de 16 m, la plate-forme rocheuse réapparaît de nouveau, les Caulerpes disparaissent et seule *Halimeda tuna* persiste. Elle est couverte d'Hydrides, dont *Campanularia* sp.; un Bryozoaire, *Frustrilla hispida* est abondant.

Le cap Kamarth se trouve donc caractérisé surtout au large du versant nord par une faible sédimentation. Les particules de sable sont maintenues constamment en suspension, ce qui explique l'apparition d'un précoraligène à 8 m de profondeur.

b. — Cap Kamarth — cap Carthage (fig. 5)

Il s'agit de la baie de La Marsa, région faiblement influencée par les apports terrigènes. Ici, même en saison pluvieuse, les fonds restent sableux (SFBC). L'envasement ne devient permanent qu'à 20 m environ. La turbidité de l'eau est surtout importante en période d'agitation; en d'autre temps l'eau est claire. La nature du fond (SC + SA) et la salinité ne semblent pas s'opposer à l'installation des Posidonies qui forment ici un récif barrière vers 8 m de profondeur et permettent la constitution d'une formation paralagunaire, par endroit, et l'installation légèrement en retrait du rivage, d'une prairie mixte à Cymodocées et à Caulerpes.

Au large du récif, les Cymodocées sont peu abondantes en été et rares en hiver; seules les Caulerpes persistent toute l'année.

A proximité du cap Carthage, nous retrouvons, comme à cap Kamarth des Posidonies en ceinture autour de la falaise. Cette ceinture se limite cependant ici à la zone côtière (1 à 2 m de profondeur) : la VTC en provenance d'oued Méliane se dépose à Carthage, même aux faibles profondeurs. Nous avons ainsi, de la côte vers le large :

— des Entéromorphes et des Ulves sur le mésolittoral supérieur;

— une bande de 20 m de largeur environ, rocheuse, riche en algues dont principalement :

Chlorophycées : *Cladophora rupestris*, *Bryopsis muscosa*, *Ulva lactuca*, *Caulerpa prolifera*, *Chaetomorpha aerea*, *Bryopsis plumosa*.

Phéophycées : *Padina pavonia*, *Dictyopteris polyploidioïdes*, *Cystoseira barbata*.

Rhodophycées : *Hypnea musciformis*, *Spyridia filamentosa*, *Jania corniculata*, *Gigartina acicularis*, *Laurencia obtusa*, *Ceramium elegans*.

— une ceinture plus ou moins continue de posidonies;

— une prairie mixte à Cymodocées et à Caulerpes s'étend au delà des éboulis, jusqu'à 15 m de profondeur, avec, par endroits, des touffes isolées de Podidonies.

— Au large de l'isobathe 15 m et jusqu'à 35 m environ, les Caulerpes peuplent la VTC.

c. — Cap Carthage — La Goulette

Cap Carthage — Salammbô (fig 7)

Les peuplements à Podidonies se limitent aux environs immédiats des vestiges immergés qui jalonnent la côte de cap Carthage à Salammbô, formant à une trentaine de mètres de la côte, un récif barrière à l'abri duquel se développe vers le rivage une prairie mixte de Cymodocées et de Caulerpes.

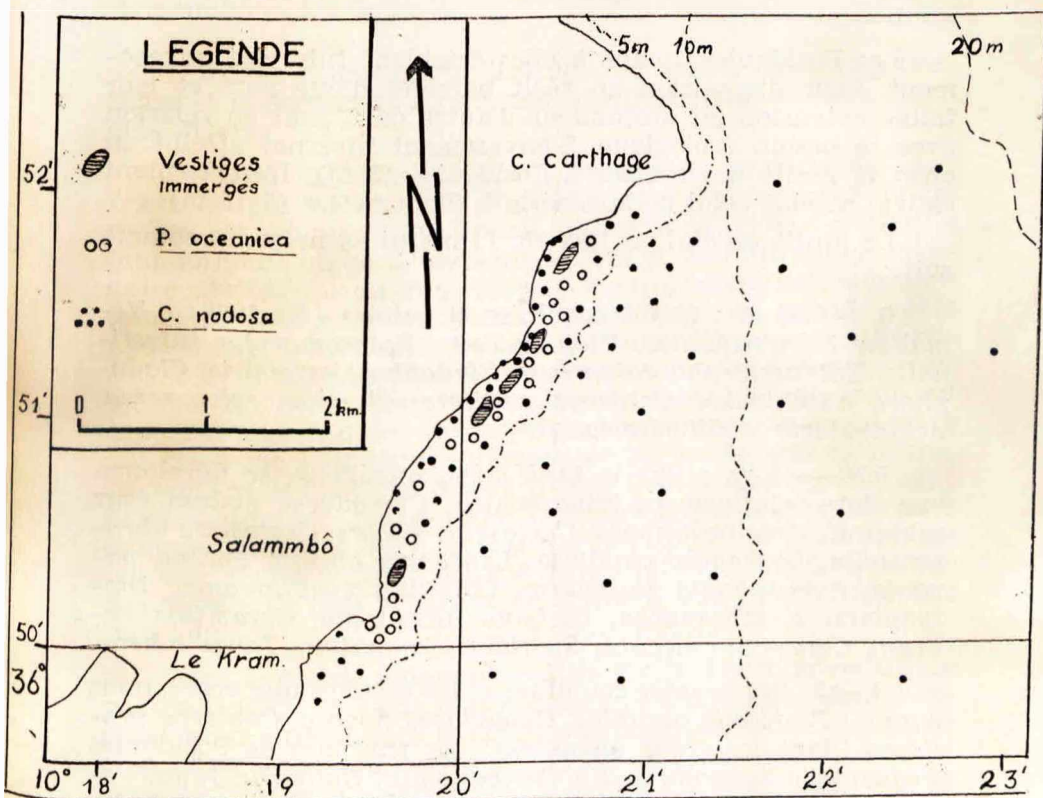


Fig. 7. Disposition de l'herbier en face de Salammbô.

Cette formation lagunaire est soumise à une sédimentation périodique qui atteint son maximum au printemps.

Les feuilles de *Cymodocées* sont noyées dans du sable légèrement vaseux et les racines se trouvent parfois à 20 cm de la surface du fond. La prairie à *Posidonies*, du fait même de sa position marginale, est soumise à une agitation constante et échappe à l'alluvionnement. Les feuilles n'arrivent à retenir que le gros sable et le gravier qui s'accumulent au niveau des rhizomes.

Au large du récif barrière, les *Posidonies* descendent jusqu'à 3 m de profondeur environ, elles constituent des plaques isolées dont la morphologie correspond à celle des vieilles mattes. Sur le talus de ces plaques se développent des *Caulerpes*.

Au delà de 3 m, une prairie mixte de *Cymodocées* (rares) et de *Caulerpes* (abondantes) s'étend jusqu'à 15 m de profondeur au nord de Salammbô et à 7 m au sud, suivant de très près la limite de la bande de sable côtier à envasement saisonnier.

Les *Posidonies*, quant à elles semblent fuir tout envasement. Leur disposition en récif barrière d'une part et leur faible extension en profondeur d'autre part, sont en relation avec ce besoin écologique. L'envasement hivernal atteint en effet la limite des mattes à *Posidonies* (3 m). L'envasement estival atteint celui de la prairie à *Cymodocées* (7-15 m).

Le profil végétal en face de l'Institut se présente comme suit :

0 — 0,30 m : (sable coquillier et galets) (été 1969) : *Nemalion helminthoides*, *Ulva lactuca*, *Enteromorpha intestinalis*, *Enteromorpha compressa*, *Cladophora rupestris*, *Cladophora hutchinsiae*, *Caulerpa prolifera*, *Chaetomorpha aerea*, *Acetabularia mediterranea*.

0,30 — 1 m : Sur le fond sablo-rocailleux, se développe une flore relativement importante : *Cymodocea nodosa* (sur sable), *Cystoseira barbata*, *Cystoseira discors*, *Cystoseira abrotanifolia*, *Laurencia papillosa*, *Laurencia obtusa*, *Padina pavonia*, *Polysiphonia floeculosa*, *Corallina mediterranea*, *Dictyota membranacea*, *Dictyota dichotoma*, *Ceramium rubrum*, *Ceramium elegans*, *Spyridia filamentosa*, *Jania rubens*.

1 — 3 : Sur le sable coquillier et les vestiges immergés, nous avons : *Posidonia oceanica*, *Cymodocea nodosa*, *Caulerpa prolifera* (dans les creux envasés); sur rhizomes de *Posidonies* *Peyssonelia squamaria*, *Udotea petiolata*, *Halimeda tuna*, *Valonia macrophysa*, et sur les feuilles de *Posidonies* épiphytes *Ceramium rubrum*, *Polysiphonia sp.*

3 — 7 m : Sur le SC et le SFBC, il y a : *Cymodocea nodosa*, *Caulerpa prolifera*, *Hypnea musciformis*, *Cladophora* sp., *Pardina pavonia*.

7 m : Sur la VTC et le SFBC, existent les algues suivantes : *Caulerpa prolifera*, *Cladophora echinus*, *Plocamium coccineum*, *Chondria dasyphylla*, *Polysiphonia nigrescens*.

La formation paralagunaire est peuplée en plus des Cymodocées, par des espèces nitrophiles. La richesse en matière organique du substrat, très élevée au niveau des rhizomes des Cymodocées, est très faible en surface à cause du dépôt de sable lessivé instable caractérisé par la présence d'*Acetabularia mediterranea* (Perès 1969).

La fixation d'espèces sciaphiles telles que *Peyssonnelia squamaria*, *Peyssonnelia rubra* et *Udotea petiolata* témoigne du faible éclairage reçu au fond.

Salammbô — La Goulette

Il existe, à une faible distance du rivage, entre cap Carthage et la Seccha du Kram, des appointements rocheux d'origine diverse.

Le fond sableux entourant ces appointements ou couvrant les parties les plus profondes et les plus plates de ces roches est peuplé d'une prairie discontinue de Posidonies, le tout formant un récif barrière, et créant une formation lagunaire abritée du large et sujette à un phénomène sédimentologique très accentué durant la période des grands vents (Automne). L'herbier à Posidonies ainsi disposé est superficiel et les touffes les plus profondes atteignent seulement trois mètres. En basse mer les feuilles émergent et se trouvent exposées aux grandes fluctuations thermiques de surface, ce qui provoque leur chute prématurée et limite, par là même, l'extension de l'herbier vers le rivage. Il faut distinguer, quant à leurs origines, cet herbier superficiel des autres herbiers dont la remontée vers la surface résulte d'une évolution en hauteur d'une matte d'origine plus profonde. Ce sera le cas des mattes de Sidi Erraïs et de Korbous que nous étudierons plus loin.

Dans le cas de Salammbô et du Kram l'herbier ne forme pas de mattes. Il s'agit plutôt de plaques d'herbier dont l'extension en largeur vers la côte les expose à une accumulation trop importante d'alluvions ce qui les oblige à évoluer dans le sens vertical et à s'exposer à l'émersion. L'extension, vers le large, expose la matte à l'envasement périodique. La disposition en ceinture parallèle à la côte et de largeur faible résulte

donc des phénomènes sédimentologiques locaux et correspond à la nécessité pour les *Posidonies* d'échapper à l'alluvionnement et à l'émersion. Nous proposons d'appeler « Herbier à évolution limitée » ce genre de formation, typique des régions à envasement périodique.

Au sud du Kram, l'herbier à *Posidonia oceanica* signalé par L. Chambost (1928) a disparu. Cette disparition, remarquée par Molinier et Picard (1954), est peut-être due à l'envasement qui affecte cette zone durant les crues et qui peut durer, selon les années, de trois à cinq mois. Néanmoins quelques Cymodocées ont remplacé les *Posidonies* sur la bande côtière sablo-vaseuse.

Les Cymodocées forment également, dans toute la région, une prairie mixte avec les Caulerpes. Cette prairie s'étend jusqu'à 20 m de profondeur et est suivie au delà par une prairie clairsemée de Caulerpes. A cette profondeur, la vase est putride, de couleur grise, riche en Vértèbres, Ophiures, Echinastères et Holothuries (*Stichopus regalis*). Nous avons également remarqué la présence d'une Annélide sédentaire (*Aphrodites aculata*) et d'une Algue rouge *Halopitya pinastroides*, signe d'une grande richesse du substrat en matière organique (J.M. Pérès, 1967).

d. — La Goulette — Ez-Zahra

Il s'agit, dans l'ensemble, du delta de déjection de l'oued Méliane et des zones limitrophes. L'envasement atteint dans cette région son maximum d'intensité. Le fond originel, qui apparaît uniquement sur une bande très étroite (de 0 à 2 m de profondeur), est constitué essentiellement de sable côtier fortement coquillier (DC) plus ou moins mélangé à du SFBC d'origine alluviale. Cette bande côtière commune à toute la côte occidentale et plus ou moins large suivant les régions est caractérisée par son étroitesse et sa discontinuité. Au sud du môle protégeant le port, le fond est vaseux. La vase, putride et noire, est parsemée de quelques Caulerpes à vitalité réduite. Nous retrouvons ce substrat en face du bordigue reliant le lac sud à la mer, avec un peuplement à *Caulerpa prolifera*, *Gracillaria confervoïdes*, *Ulva lactuca*, et *Enteromorpha intestinalis*.

Entre le môle et l'embouchure du bordigue, s'est installé sur le sable côtier peu profond un herbier très clairsemé de *Posidonia oceanica*, dont les rhizomes superficiels sont couverts d'épiphytes, notamment *Peyssonelia squamaria*, *Peyssonelia rubra* et *Peyssonelia harveyana*. Dans cet herbier vit, aussi, une multitude d'animaux, dont des Crustacés Déca-

podes, *Alpheus macrocheles*, *Palaemon adspersus* et *Palaemon serratus*, des Echinodermes : *Asterina gibbosa*, *Paracentrotus lividus*, un lamellibranche, *Arca noe* et une anémone, *Anemonia sulcata*. *Asterina gibbosa* vit en abondance dans l'herbier à Cymodocées et Caulerpes qui couvre le reste du fond.

Les Cymodocées forment de chaque côté du delta des bancs discontinus légèrement surélevés par rapport au fond environnant. Ces plantes, toujours mélangées à des Caulerpes, se font de plus en plus rares et disparaissent à 15 m de profondeur environ. Les Caulerpes par contre deviennent, jusqu'à cette profondeur, de plus en plus dominantes et restent exclusives au delà de cette limite et jusqu'à 30 m de fond. La VTC côtière qui se dépose durant les crues et la rapidité avec laquelle cette vase disparaît à la fin des pluies, dans les régions les plus côtières puis en profondeur, laisse supposer l'existence d'un courant sous marin qui nettoie le fond et qui crée une turbidité permanente malgré le mode abrité de cette partie du golfe. Cette turbidité réduit la couche euphotique; elle oblige les Posidonies à devenir très superficielles et fait remonter également, mais de façon moins marquée, les Cymodocées.

e. — Ez-zahra — Ras Fortas

Cette région échappe à l'action directe de l'oued Méliane; les seuls apports terrestres sont dûs au ruissellement des eaux de pluie, et intéressent la zone la plus côtière. A Sidi Erraïs, ces apports sont nuls, à cause de la structure sableuse de la côte.

Cette position confère à toute la région des caractères hydrologique et granulométrique particuliers : salinité relativement constante, envasement très réduit, et eaux claires durant toute l'année. Ces propriétés, peu marquées à Ez-Zahra, s'affirment à mesure que l'on s'éloigne de l'embouchure de Méliane.

La frange côtière de sable signalée dans le paragraphe précédent s'élargit et, de 5 m, à Ez-Zahra, atteint en pleine saison pluvieuse la profondeur de 15 m au large de Korbous et 25 m au large de Ras Fortas. L'extension de la prairie à Posidonies suit de très près cette bande sableuse côtière : c'est pourquoi nous y rencontrons cette plante en profondeur. Elle forme au large de Hammam-Lif et à 7 m de profondeur un herbier clairsemé mais plein de vitalité.

Cet herbier s'élargit vers le NE. et constitue, en face de Sidi Erraïs, de véritables mattes de profondeur en pleine évolution (fig. 8). Les plus âgées de ces mattes ont atteint la surface, alors que d'autres, plus jeunes, sont à 20 m de fond.

L'évolution en hauteur de certaines mattes a permis la formation d'un récif barrière à un mille environ de la côte; ce récif n'est pas continu et se trouve entrecoupé par des chenaux profonds dont le substrat, à l'origine sableuse, est très riche en débris coquilliers et en coquilles complètes, de Gastéropodes en particulier.

Les chenaux intermattes sont balayés par des courants forts et restent de ce fait dépourvus de toute végétation. Les coquilles de Gastéropodes et de Lamellibranches qui s'y trouvent sont, de toute évidence, les restes d'animaux jadis inféodés à la partie disparue de la matte, puisque ces mêmes animaux se retrouvent vivants sur les mattes restées en place. Il s'agit d'espèces considérées par J.G. Harmelin (1964) comme caractéristiques exclusives des mattes, telle que *Arca noe*, *Lepton squamosum* et *Venus verrucosa*. Le récif barrière détermine à Sidi Erraïs (fig. 8), une formation lagunaire classique avec sa prairie à Cymodocées et quelques Caulerpes. Celle-ci sont abondantes surtout au large entre 20 et 30 m de profondeur. Nous avons ainsi au large de Sidi Erraïs, de la côte vers le large (mai 1970) :

- un sable coquillier propre et azoïque;
- une pelouse à Cymodocées (jusqu'à 1 m de profondeur environ);
- une formation lagunaire proprement dite avec une prairie mixte à Cymodocées et à Caulerpes (de 1 à 2 m de profondeur) et des mattes superficielles, à vitalité réduite, surtout en face des chenaux intermattes de l'herbier profond;
- un récif barrière de Posidonies; il s'agit d'un viel herbier puisque la matte atteint 10 m de hauteur et émerge à la surface de l'eau, par endroit, alors que les intermattes se trouvent à des profondeurs de 10 m à 15 m. Les chenaux intermattes sont balayés par des courants de compensation qui maintiennent une agitation constante et réduisent la sédimentation au niveau des mattes superficielles, situées dans la formation déjà décrite.

La région de Korbous à Ras Fortas est marquée par une côte abrupte avec des séries de blocs disposés à quelques mètres du rivage et où un peuplement algal et animal varié a trouvé refuge :

Algues : *Nemalion helminthoides*, *Ulva lactuca*, *Enteromorpha intestinalis*, *Enteromorpha compressa*, *Cladophora prolifera*, *Ceramium elegans*, *Jania rubens*, *Corallina officinalis*, *Corallina granifera*, *Halopteris filicina*, *Cystoseira mediterranea*, *Padina pavonia*, *Dictyota dichotoma*.

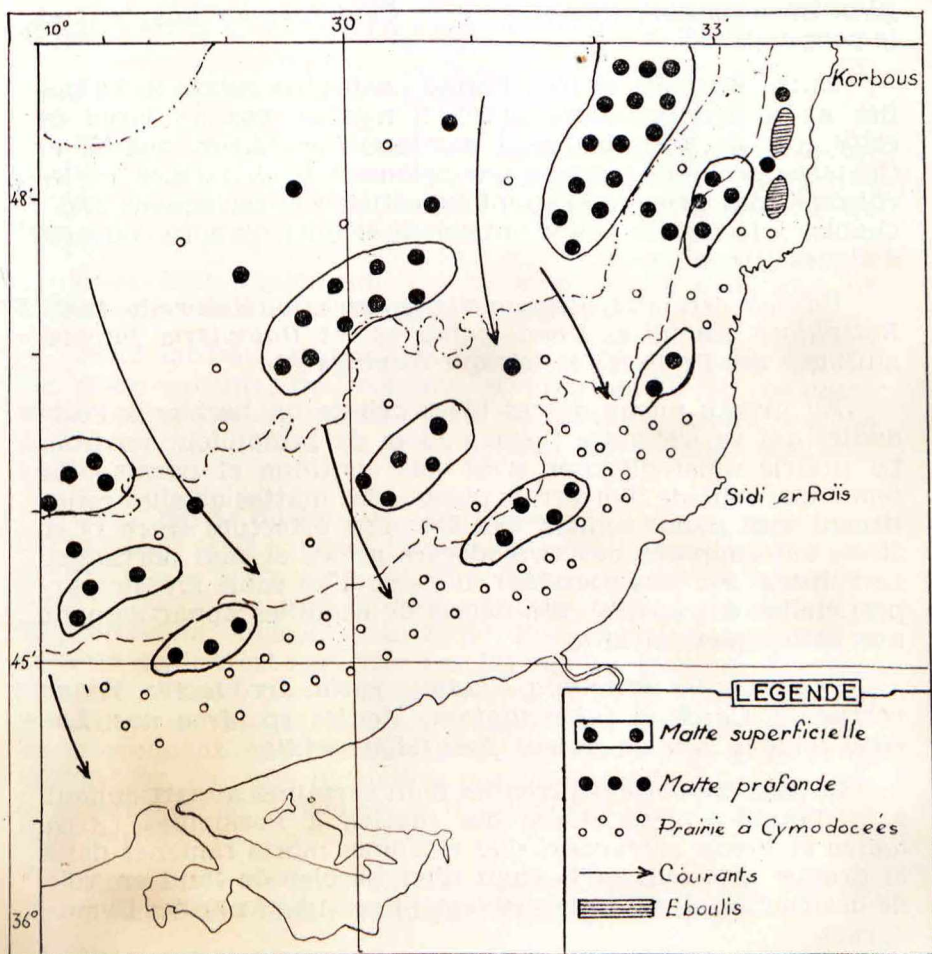


Fig. 8. Disposition des mattes au large de Sidi Errais.

Sur les rhizomes de *Posidonies* ou sous les surplombs rocheux : *Udotea petiolata*, *Halimeda tuna*, *Peyssonelia squamaria*, *Peyssonelia polymorpha*, *Gelidium nigrescens*.

Surtout dans les creux vaseux : *Caulerpa prolifera*.

Dans les endroits profonds à partir de 15 m environ : *Codium bursa*, *Zanardinia prototypus*, *Phyllophora nervosa*, *Spyridia filamentosa*.

Animaux : *Patella* sp., *Clidonia cordieri*, *Fron dipora verrucosa*, *Chondrosia reniformis*, *Disydea* sp., *Bugulla flabellata*, *Ilia nucleus*, *Ghiomyxa pentagona*, le substrat situé entre la grève et les blocs rocheux est constitué par un sédiment fan-

geux inconsistent; Cymodocées et Caulerpes s'y adaptent et le peuplent.

Entre Korbous et Ras Fortas, la prairie mixte n'est pas liée au milieu lagunaire puisqu'il n'existe pas au large de cette côte de véritable récif barrière. *Cymodocea nodosa* et *Caulerpa prolifera* forment une pelouse très clairsemée, où les rhizomes des Cymodocées sont superficiels et facilement arrachables à la drague (alluvionnement réduit), ils sont couverts d'algues sciaphiles.

Udotea petiolata, *Peyssonelia squamaria*, *Halimeda tuna*, *Rytiphloea tinctoria*, *Rhodymenia* sp. et *Halopteris filicina*, ainsi que des Bryozoaires tels que *Naplites* sp.

Au niveau même de ces blocs débute un herbier à Posidonies qui va s'étendre jusqu'à 13 m de profondeur environ. La prairie ainsi disposée n'est pas continue et paraît plus jeune que celle de Sidi Errais puisque les mattes qu'elles constituent sont moins hautes. Des dragages effectués entre 17 et 25 m ont rapporté des Cymodocées grêles et mal portantes. Le substrat est très coquillier, il s'agit d'un sable grossier superficiellement envasé. Les débris de coquilles appartiennent aux Mollusques suivants :

Venericardia antiquata, *Chlamys varia*, *Arca lactea*, *Venus verrucosa*, *Cardium tuberculatum*, *Macra* sp. *Arca noe*, *Loripes lacteus*, *Nucula nuleus*, *Smaridga viridis*.

Ce sont des formes juvéniles dont certaines appartiennent à la faune caractéristique des mattes à Posidonies (*Arca lactea* et *Venus verrucosa*). Les rhizomes morts ramenés dans la drague prouvent qu'il s'agit d'un herbier de fond en voie de destruction. Il est progressivement remplacé par des Cymodocées.

Notons enfin l'existence d'un fond coralligène entre Korbous et Ras Fortas à 20 m de profondeur. Ce fond est très riche en animaux. Il y a aussi des Posidonies et un certain nombre d'algues sciaphiles fixées sur leurs rhizomes.

Udotea petiolata, *Halimeda tuna*, *Peyssonelia squamaria*, *Peyssonelia polymorpha*, *Phyllophora nervosa*.

Les animaux récoltés dans ce milieu sont les suivants : des Hydraires : *Sertulonella physonia*, *Laomedea gelatinosa*, *Campanularia verticillata*, une Gorgone : *Eunicella stricta*, des Bryozoaires : *Bugulla flabellata*, *Myrionozoum truncatum*, *Retepora cellulosa*, *Fron dipora verrucosa*, *Idmonia serpens*, *Chlidonia cordieri*, *Bicellariella ciliata*, *Tubulipora flabellaris* (sur *Udotea petiolata*), *Cellaria fistulosa*, des éponges : 2 spécimens non déterminés et *Geodia* sp.

Le coralligène descend jusqu'à 30 m environ et rejoint la vase terrigène côtière couverte de *Caulerpa prolifera*.

f. — **Ras Fortas — Ras Daoud**

Malgré l'influence océanique directe au niveau de cette partie du golfe, salinité inférieure à 37‰ nous pensons que ce phénomène est dû au courant atlantique qui longe cette côte pour rejoindre la pleine mer.

Rappelons également que cette zone est composée de 3 ensembles granulométriques homogènes.

Fond sableux (stations 44-53) : il s'agit de sable coquillier grésocalcaire, peu colmaté et instable. Il est constamment remué par les vagues et forme dans les faibles profondeurs des banquettes et des chenaux au gré des courants locaux.

Cette partie du fond est généralement azoïque, sauf dans le cas où un récif barrière rocheux permet l'installation d'une prairie mixte à Cymodocées et à Caulerpes. En l'absence de cette barrière, les Cymodocées envahissent le fond vers 3 m de profondeur environ (juin 1969). En hiver la frange côtière de cette prairie est arrachée par les vagues. Cette prairie très prospère s'étend vers le large jusqu'à 35 m de profondeur où le sol devient vaso-sableux, avec apparition de Caulerpes. Celles-ci occupent une bande vaseuse étroite suivie, à 40 m de profondeur, par une formation coralligène à Mélobésiées. Sur le substrat ainsi consolidé se développent une faune et une flore variées.

Algues : *Caulerpa prolifera*, *Valonia macrophysa*, *Phyllophora nervosa*, *Udotea petiolata*, *Vidalia volubilis*.

Animaux : *Alcyonium palmatum*, *Laomedea gelatinosa*, *Tubulipora flabellaris*, *Idmonia serpens*.

Vers 50 m de profondeur, le coralligène est superficiellement envasé. La seule algue que nous ayons récoltée à cette profondeur est *Halimeda tuna*.

Fond détritique coquillier

Il s'agit de la région comprise entre l'embouchure d'oued Abid et celle d'oued El Mgaï. Nous rencontrons sur cette côte l'herbier le plus dense de tout le golfe de Tunis. Le fond proprement dit de la matte est très difficile à obtenir. C'est un mélange de sable grossier, de débris végétaux et animaux et d'éléments plus fins de nature diverse. Le substrat prélevé entre les mattes est identique à celui relevé au large de Sidi

Errais et de Korbous, et que nous avons défini comme l'emplacement d'anciennes mattes. Les mattes sont basses et jeunes. La limite vers la côte de la prairie correspond, vers 5 m de profondeur au début d'une prairie à Cymodocées qui couvre l'espace sableux côtier jusqu'à 2 m de profondeur. Au large et à 30 m, le fond est de nouveau détritique coquillier, il s'agit selon toute évidence d'une ancienne aire d'expansion des Posidonies qui sont actuellement en voie de disparition.

A 35 m de fond, il y a apparition d'un coralligène de même type que celui signalé plus au sud au large de la prairie à Cymodocées. Notons également l'existence sur les rhizomes des Posidonies d'algues sciaphiles telles que :

Rytiphloea tinctoria, *Peyssonelia rubra*, *Udotea petiolata*, *Codium bursa*, *Gelidium sp.*, ainsi que d'animaux divers dont notamment :

Myrionozum truncatum, *Margaretta coroides*, *Retepora cellulosa*, *Alcyonium palmatum*.

Ces peuplements remontent jusqu'à 10 m de profondeur mais restent à l'abri des radiations vives grâce aux feuilles de l'herbier.

Zone à gros sable (stations 63-65-66 et 67)

Le sable grossier coquillier marque une phase avancée de la destruction de l'herbier à Posidonies; seules quelques plaques isolées de cette plante subsistent par endroit.

La bande côtière est azoïque, la zone profonde (au delà de 7 m) est peuplée de Cymodocées et le Coralligène apparaît à 30 m de profondeur.

CHAPITRE CINQ

ETUDE DE LA CROISSANCE ET DU DEVELOPPEMENT

1. OBSERVATIONS GENERALES SUR LE DEVELOPPEMENT

Les récifs barrières et les formations lagunaires sont fréquents dans toutes les régions du golfe. Le rapprochement de la matie vers la surface est plus ou moins accentué en fonction de sa vieillesse et de son origine. Dans le cas de Salammbô, le récif barrière est d'origine superficielle. A Sidi Erraïs, la matie de nature profonde a évolué en hauteur pour atteindre la surface de l'eau. Dans les deux cas la formation lagunaire est occupée par des Cymodocées dont les feuilles affleurent également à la surface; cette situation est de nature à exposer les plantes aux grandes variations journalières et saisonnières de température et de salinité et provoque, surtout en été, la nécrose des feuilles qui tombent et s'accumulent sur la plage.

Par opposition au système sous terrain peu profond des Posidonies, celui des Cymodocées est profondément enfoui sous le substrat. Le sable, transporté du large, et décantant au niveau de la formation lagunaire, couvre aussi la base des feuilles d'une couche protectrice qui, comme nous le verrons, permet à la plante de régénérer son système photosynthétique. La couche protectrice peut atteindre la hauteur de 10 centimètres. Les rhizomes de Cymodocées se développent horizontalement et ont une croissance indéfinie. Au niveau des entrenœuds, des racines, une par entre-nœud, d'abord simples, ramifiées par la suite, prennent naissance et fixent solidement au substrat le « cordon rhizomique » garni de faisceaux foliaires. Le bout du rhizome qui porte le bourgeon terminal pointe en dehors du substrat: l'entre-nœud terminal pourvu d'une racine simple s'allonge; le bourgeon terminal donne naissance à d'autres entre-nœuds, d'autres racines et d'autres faisceaux foliaires. La partie devenue aquatique du rhizome fléchit sous son propre poids et touche le fond par sa partie distale. La racine terminale s'enfonce et fixe le rhizome: un certain alluvionnement ou à défaut une instabilité relative du fond sont alors nécessaires pour couvrir la portion restante du rhizome. Dans le cas des formations lagunaires de Salammbô et du Kram, le récif barrière de Posidonies favorise l'accumulation de sédiment et l'expansion saisonnière des prairies à Cymodocées, d'autant plus que la croissance des rhizomes coïncide avec l'alluvionnement fluvial (de septembre à décembre). Au début de l'hiver, le déferlement des vagues qui déblaye, au contact de la plage, le sédiment accumulé, provoque un déter-

rement des rhizomes fraîchement couverts. L'existence à cette période de l'année de rhizomes aquatiques correspond donc à une phase d'érosion et de dégradation de l'herbier à Cymodocées, alors qu'un tel aspect correspond en automne à une phase de croissance et d'extension.

A Sidi Erraïs, l'enfouissement automnal des rhizomes en croissance est dû surtout à l'instabilité du sédiment qui bute contre la partie aquatique de la plante et s'accumule à son niveau.

La croissance verticale des rhizomes à Posidonies leur interdit, par contre, de vivre dans les zones à grande sédimentation où elles risquent d'être « noyées » sous les alluvions, d'autant plus que le lacis foliaire dense de ces Monocotylédones est de nature à favoriser un excès d'accumulation de substrat à leur niveau.

Les deux modes d'expansion et de développement de ces deux plantes sont donc différents et peuvent être comparés aux modes d'expansion de deux Monocotylédones terrestres : le chiendent et la fétuque. Le type normal de croissance des monocotylédones rampantes tel que le chiendent se fait par une poussée horizontale du rhizome qui par marcotages successifs, gagne du terrain, ce qui explique sa grande vitesse d'envahissement. Les fétuques, par contre, à croissance rhizomique partiellement verticale, ont un pouvoir d'invasion limité et des exigences édaphiques plus grandes.

2. ETUDE EXPERIMENTALE DE LA CROISSANCE

a. — Etude *in situ*

L'étude de la croissance a été faite à la station 22, située juste en face de l'Institut océanographique de Salammbô, où nous avons effectué nos recherches. Cette station présente, en plus de sa proximité du laboratoire, l'avantage de constituer un exemple idéal d'une formation lagunaire avec son récif barrière de Posidonies et sa prairie à Cymodocées dense et d'accès facile.

L'allongement des feuilles et des rhizomes est considéré dans le présent travail comme critère de la croissance des Posidonies et des Cymodocées. Afin de réduire l'erreur d'ue, lors des mensurations *in situ*, à un enfoncement plus ou moins grand de la règle graduée dans le sédiment, celle-ci a été munie à sa base d'un socle.

b. — Etude statistique de la croissance

Cymodocea nodosa

Croissance des feuilles (fig. 9, tableaux 36-37).

Les mesures de croissance ont été échelonnées entre le mois de janvier 1969 et le mois de novembre de la même année. Etalées sur presque une année, elles nous ont permis d'observer la croissance au cours des 4 saisons. Pour cette étude, seules les feuilles entières ont été mesurées.

Nous constatons que la période de croissance débute en octobre et atteint son maximum au printemps, pour s'arrêter en été. Notons également que les Cymodocées de profondeur atteignent une longueur de feuilles beaucoup plus importante. Une largeur moyenne de 27,22 cm avec un écart type de 14,62 cm a été enregistrée en mai pour des feuilles de Cymodocées de profondeur, ce qui prouve que l'allongement des feuilles est limité par le plan d'eau et que la chute des feuilles n'est pas liée seulement à un cycle biologique interne, mais aussi à des facteurs mécaniques externes : hautes températures et salinités estivales, agitation des vagues.

Les mesures de croissance effectuées dans une station légèrement plus profonde nous a révélé une croissance active durant la saison estivale (tableau 37).

Si l'on exclut les valeurs obtenues durant la période estivale et qui correspondent à la nécrose des apex foliaires affleurant la surface, nous pouvons conclure à 3 phases principales de croissance.

- une période de latence en hiver (janvier, février et mars);
- deux périodes de grande activité correspondant au printemps et à l'automne;
- une période de ralentissement en été.

Croissance des rhizomes

La croissance des rhizomes apparaît inversement proportionnelle à celle du système foliaire. Tout se passe comme si, pendant l'époque de grande activité photosynthétique (printemps), les racines et les rhizomes accumulaient les réserves pour les utiliser au moment du ralentissement de la croissance du système foliaire. Il y a donc un balancement dans le développement des deux systèmes sous terrain et aquatique. Ce balancement peut être provoqué : la réduction artificielle du nombre de feuilles sur un rhizome provoque immé-

TABLEAUX 36-37

*Croissance des feuilles entières de Cymodocea nodosa
(Salammbô, année 1969)*

Date	Nombre de mesures	Moyenne des longueurs (en cm)	Ecart-Type
23-1	99	10	6,3
6-2	98	13,02	9,5
15-3	90	11,24	4,5
10-4	111	15,12	6,3
15-5	50	15,73	4,13
3-6	96	7,86	4,6
14-7	110	6,34	2,64
15-8	50	5,5	2,5
1-10	100	7,74	1,9
13-11	105	8,38	1,75

Station légèrement plus profonde

Date	Moyennes des longueurs (en cm)
21-7-69	12,65
28-7-69	14,10
4-8-69	16,63
11-8-69	16,45
18-8-69	17,93
25-8-69	18,70

diatement un allongement des entre-nœuds; ce phénomène remarquable serait peut être à l'origine de la grande activité automnale du système sous terrain, étant donné que cette activité apparaît à la suite de la chute estivale des feuilles. Les rhizomes prélevés en profondeur ont, en été, des feuilles bien développées et un système racinaire très réduit.

Tout se passe comme si les prairies à *Cymodocea nodosa* les plus exposées à l'arrachement, et en particulier celles qui sont les plus superficielles, réagissaient après la perte esti-

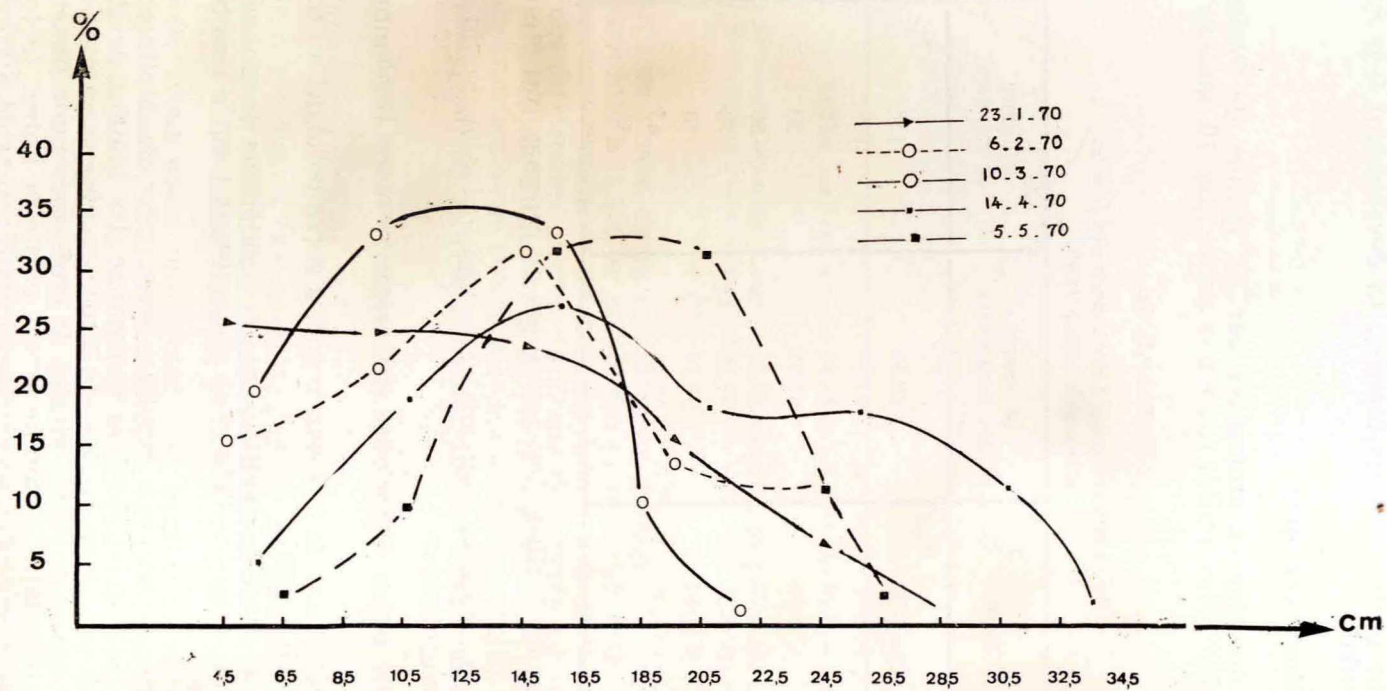


Fig. 9. *Cymodocea nodosa*. Courbes de fréquence : longueur des feuilles.

vale d'une partie de leurs feuilles, en développant leur système racinaire.

Posidonia oceanica

Les mesures de croissance sur les feuilles de *Posidonia* ont été effectuées durant toute une année (fig. 10, tableau 38).

TABLEAU 38

Posidonia oceanica : croissance des feuilles
(Salammbô, année 1969)

Date	Moyennes des longueurs	Nombre de mesures
28- 1-70	29,36	138
5- 2-70	31,84	109
10- 3-70	30,94	98
5- 5-70	32,97	50
18- 6-70	38,26	60
12- 7-70	31,50	70
5- 8-70	30,24	50
3-11-70	25,16	65
7-12-70	30,66	50

Seules les feuilles, non tronquées au sommet, ont été mesurées.

L'examen des résultats obtenus permet de dégager trois phases de croissance :

- une phase de latence intéressant l'hiver (décembre à mars);
- une phase de croissance active correspondant au printemps (avril à juin);
- une phase de ralentissement considérable de croissance amorcée au début de l'été et se poursuivant jusqu'au mois de novembre.

En comparant nos résultats avec ceux de Molinier et Zevaco (1962) relatives à la croissance des feuilles de *Posidonia oceanica* dans la baie de Brusc et où ces auteurs ont distingué également trois phases de croissance : une phase de latence intéressant l'automne et une partie de l'hiver (octobre à janvier), une phase de grande activité printanière (février

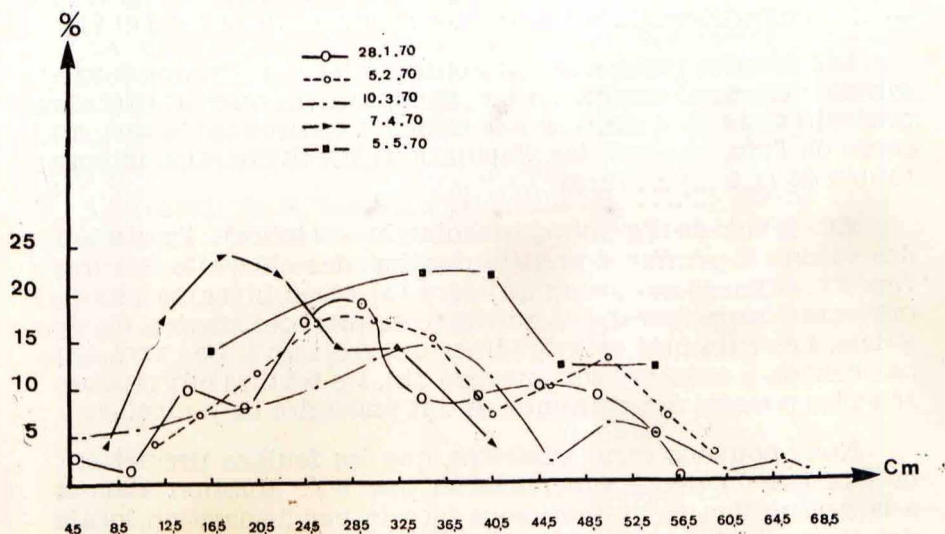


Fig. 10. *Posidonia oceanica*. Courbes de fréquence : longueur des feuilles.
Remarque : Notons la rapidité de croissance des feuilles entre avril et mai.

à mai), une phase de ralentissement considérable de croissance amorcée à la fin du printemps et se poursuivant en été, nous pouvons constater un décalage général dans le déroulement des différentes phases. La phase de latence est retardée dans le golfe de Tunis, vers la période hivernale; la phase de croissance active se poursuit jusqu'au mois de juin; la troisième phase de ralentissement dure tout l'été et une partie de l'automne.

c. — Essai sur la régénération des prairies

Cymodocea nodosa

Un carré d'essai (a), délimité par un grillage fin permettant une libre circulation d'eau et s'opposant à tout apport de bouture, a été choisi dans la prairie à *Cymodocées*.

Nous avons opéré une section des feuilles au niveau du substrat; la partie du faisceau foliaire enfouie dans le sable est laissée intacte. A la même période et dans un autre carré (b), nous avons pratiqué l'ablation des feuilles à la base, de façon à ne garder sous le fond que les rhizomes et les racines.

Durant l'été, les rhizomes sans feuilles ont continué à vivre sans pousser de nouvelles feuilles. En effet, l'ablation

des feuilles au dessous d'un certain niveau les a privées de leur assise génératrice située à leur base (Sauvageau 1889-90 et 91).

Les feuilles tronquées ont continué leur croissance à raison de 2 cm par semaine en moyenne, sans nécrose apparente contrairement aux feuilles des témoins environnants qui, au cours de l'été, ont subi les fluctuations nycthémérales importantes de la températures.

Au début de l'automne (septembre-octobre), l'agitation des vagues a provoqué une élimination des éléments les plus fins du sédiment au niveau du carré (b) et, en hiver, ce carré a présenté l'aspect d'une dépression emplie de gravier et de galets. Les rhizomes et les racines ont dégénéré. Le carré (a) par contre, a conservé son substrat fin, les feuilles ont repoussé et les pousses des rhizomes en ont engendré de nouvelles.

Nous pouvons donc admettre, que les feuilles permettent la fixation du dépôt superficiel et que leur ablation aboutit à la destruction du système sous terrain par disparition locale des éléments fins.

Nous devons également croire qu'une certaine sédimentation est nécessaire puisqu'elle empêche la chute de la feuille au dessous d'un certain niveau létal et permet ainsi au système foliaire de continuer à remplir sa fonction photosynthétique, en plus du fait que cette sédimentation favorise l'enterrement des rhizomes en période de croissance, comme cela a été déjà signalé.

Posidonia oceanica

L'ablation des feuilles de Posidonies, à n'importe quel niveau, arrête la croissance et aboutit à la nécrose puis à la chute de la partie restante. Le rhizome se dégrade au bout de trois mois. La structure du substrat est également modifiée : la disparition des feuilles provoque le départ des éléments fins du sol. La région traitée se creuse et on assiste à une accumulation de gravier au niveau de la microcuvette. Ce même phénomène se produit à la suite de la destruction naturelle d'une matie (Molinier et Picard 1952) lorsque celle-ci atteint la surface et perd accidentellement ses feuilles, avant que de nouvelles ne se forment.

En effet la chute automnale des feuilles de Posidonies est précédée, dans le cas normal, par une poussée de jeunes feuilles remplaçant les vieilles et jouant leur rôle physiologique et mécanique. Si la chute des feuilles est provoquée prématurément, soit par ablation soit par nécrose due à des émerisions fréquentes, et quand les jeunes feuilles n'ont pas

encore poussé, un processus de dégradation de la matte commence avec le départ des sédiments fins.

La différence de comportement des Posidonies et des Cymodocées vis-à-vis de l'ablation de l'apex foliaire prend donc une signification écologique et permet de comprendre l'adaptation de ces deux plantes à des « sols » de structure et de dynamique différentes.

Le travail de R. Molinier et C. Zevaco (1962) donne l'explication du comportement de *Posidonia oceanica*. L'apex foliaire de cette Monocotylédone est le seul centre de synthèse de l'AIA (Acide indol — 3 — acétique), nécessaire, à la croissance. La question reste posée en ce qui concerne *Cymodocea nodosa*.

CHAPITRE SIX

ETUDE EXPERIMENTALE DE L'ECOLOGIE DES PHANEROGAMES MARINES

Une série d'expériences a été entreprise pour préciser nos observations directes et déterminer expérimentalement les exigences écologiques des phanérogames marines.

1. ACTION DE LA SALINITE

a. — Conditions d'expérience

Deux aquariums en matière plastique (P.V.C.) dont l'un est occupé par les témoins sont équipés d'un double fond permettant une circulation d'eau à travers le substrat, celui-ci étant placé sur le fond supérieur.

L'eau arrive par le haut, et est évacuée par le fond. Un tel dispositif permet d'aérer le système sous terrain de la plante et d'éviter le développement de bactéries sulfureuses dans le sédiment. La température est maintenue constante à 20° C grâce à une résistance électrique et un thermostat. Un éclairage de 1000 Lux est assuré artificiellement pendant 9 heures par jour.

La salinité est rendue variable dans l'un des deux aquariums par addition dans le circuit d'eau de robinet, ou par ajout de sel marin.

b. — Résultats expérimentaux

Pour les Cymodocées et dans les conditions de l'expérience, la croissance est maximum à une salinité de 36,5‰. Cette croissance décroît avec la salinité et devient nulle à 32,5‰. Quand la salinité augmente, elle devient mortelle à 40 ‰ (fig. 11, tableau 39).

Pour les Posidonies, l'expérimentation s'est avérée plus difficile. Dans les meilleures conditions, il a été impossible de les maintenir en aquarium plus de 6 jours. Pour cette raison, l'expérience a eu pour but uniquement de déterminer les valeurs limites de la salinité.

Dans les mêmes conditions expérimentales que précédemment, ces valeurs sont de 33‰ et de 41‰. Au delà et en deçà de ces deux salinités, *Posidonia oceanica* dépérit.

c. — Discussion

Dans le golfe de Tunis, la salinité variable, surtout aux environs des embouchures des oueds, reste néanmoins dans les limites supportables par les Posidonies et les Cymodocées.

TABLEAU 39

Cymodocea nodosa : croissance des feuilles
en fonction de la salinité

Salinité ‰ croissante	Croissance des feuilles en cm/semaine		Salinité ‰ décroissante
37,5	3,3	3,2	37,5
38,5	3,0	3,5	36,5
		3,3	35,5
39,5	1,1	1,8	33
40,5	0	0	32,5
41,5	mort	mort	30

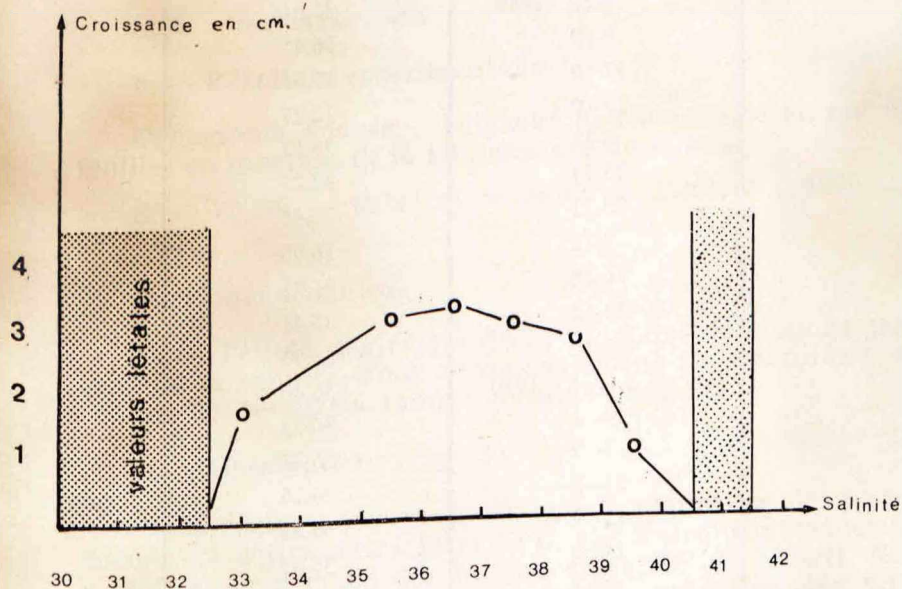


Fig. 11. Croissance des feuilles (en cm) en fonction de la salinité.

Nous savons que, dans le golfe de Tunis, la salinité est faible; les mesures prises en 1969, année exceptionnellement pluvieuse, nous révèlent une salinité à peu près homogène dans le golfe et variant entre 36 et 37,5‰ avec des minima dans les régions directement soumises aux crues des oueds.

En dehors de 1969 et durant l'année 1968, par exemple, la salinité a peu varié. Elle est restée comprise entre 37,5 et 38,5‰ au large avec une fluctuation plus grande au niveau des régions côtières (36‰ à 39‰).

Ces fluctuations, importantes parfois, n'ont donc pas empêché l'installation des Phanérogames marines. Notons, par exemple, qu'à Salammbô une salinité exceptionnelle de 32‰ a été enregistrée, en novembre 1969 (tableau 40), au niveau de la formation lagunaire à Cymodocées, sans que ces dernières ainsi que les Posidonies qui les séparent du large n'aient manifesté à cet égard une intolérance létale.

TABLEAU 40
Salinités (‰) de la station 22, année 1969

Date	Salinité (S ‰)
8-10 1969	35,61
9-10	36,45
17-10	35,61
23-10	32,27
6-11	36,17
23-11	32,27
25-11	36,45
9-12	36,96
16-12	36,91
23-12	35,41
31-12	36,80
9- 1 1970	36,40
14- 1	36,53
3- 2	36,38
11- 2	36,26
13- 4	36,82
13- 4	36,85
18- 5	36,62
23- 6	36,00

Ces conclusions semblent en contradiction avec la sténohalie des Phanérogames marines, considérée jusque là comme un caractère dominant de leur écologie. (C.H. Ostenfeld 1918, Molinier et Picard 1952).

2. ACTION DE LA TEMPERATURE

a. — Conditions d'expérience

Le même type d'aquarium a été utilisé et la température est rendue variable grâce au dispositif chauffant et thermostaté précédemment signalé. La température d'origine (15° C) est la température de l'eau de mer au début de l'expérience.

Pour les Cymodocées, les observations sont faites sur différents types de rhizomes.

— Rhizome à 3 entre-nœuds et racines

a₁ = feuilles tronquées naturellement

b₁ = feuilles complètes

— Rhizome à 15 entre-nœuds et racines

a₂ = feuilles coupées artificiellement

b₂ = feuilles complètes

— Rhizome à 4 entre-nœuds sans racines

a₃ = feuilles coupées artificiellement

b₃ = feuilles complètes

b. — Résultats expérimentaux

Cymodocea nodosa : longueur hebdomadaire en cm des feuilles en fonction de la température du milieu.

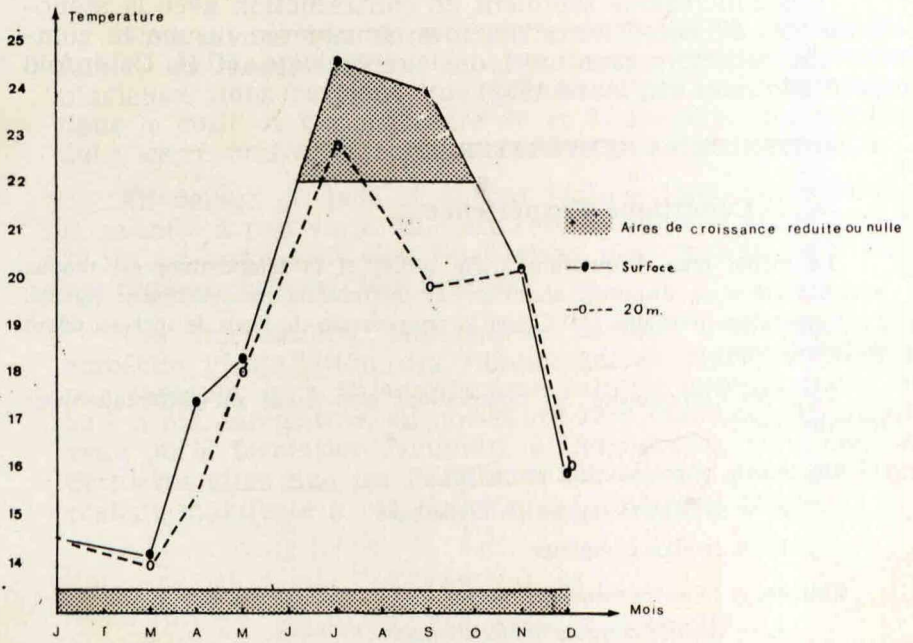
S = 36,5‰ — substrat = sable — lumière : 1000 lux, 9 h/jour.

Posidonia oceanica

Dans l'étude des effets de la température, comme pour ceux de la salinité, nous avons seulement pu déterminer des valeurs limites de tolérance qui sont 10°5 et 30°C.

c. — Observations (fig. 13)

Nous remarquons aisément que la croissance des Cymodocées est active entre 15 et 18°C, elle s'arrête pratiquement à 26°C et la nécrose des feuilles est effective à 28°C. Nous remarquons également que les feuilles naturellement tron-



Fifg. 12 Courbe de croissance de *Cymodocea nodosa* in situ.

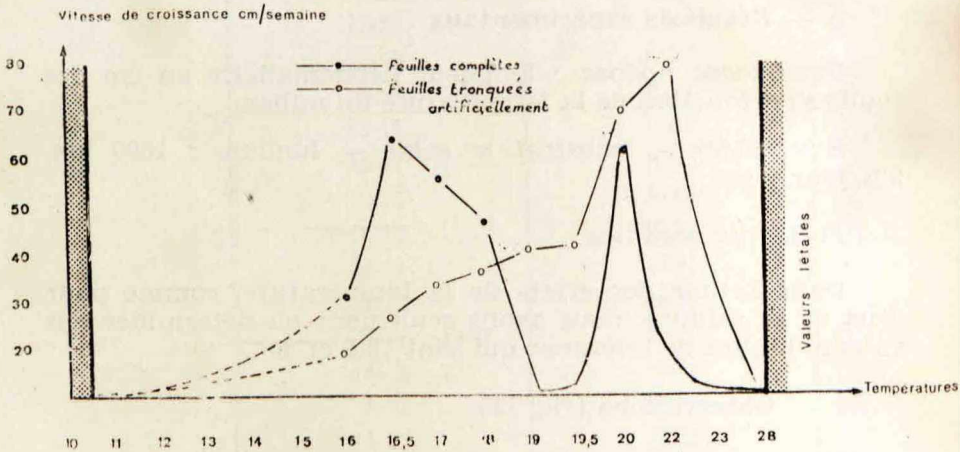


Fig. 13. Courbes de croissance expérimentale des feuilles de *Cymodocea nodosa*

TABLEAU 41

Cymodocea nodosa : longueurs hebdomadaires (en cm)
des feuilles en fonction de la température de l'eau

Echan tillon \ T°	T°										
	15°C	16°	16°5	17°C	18°C	19°C	19°5	20°C	22°C	26°C	28°
a1	12,5	12,5	12,2	12,2	12,2	11,1	4,5	4,5	×	×	×
a2	12,6	17	26,1	33,5	36,1	40,8	41,4	69,9	77	79	×
a3	17,4	21,6	32,4	41,6	49	49	49,2	60,6	60,6	60,6	×
b1	71,5	77,5	97,5	100	102,5	103	103,5	103	105	106	106
b2	47,3	51,5	64,7	79,8	86,7	89,7	89,7	89,1	80	×	×
b3	78	79	80	91	91	92	92	×	×	×	×

quées déjà nécrosées au sommet (a_1) ne manifestent plus aucune croissance. La nécrose va atteindre au fur et à mesure le reste de la feuille qui tombe en morceaux. Par contre les feuilles coupées artificiellement (a_2) continuent à croître à une vitesse au moins égale à celle des feuilles jeunes et complètes. Le « fauchage » des feuilles provoque donc un rajeunissement de la plante et stimule son activité régénératrice.

Dans une autre expérience, nous avons observé que la température de 10° 5 a été mortelle pour les *Cymodocées* et les *Posidonies*; elle arrête toute croissance et provoque au bout de deux jours la nécrose totale des feuilles, et ce à une salinité de 36,15 et sous un éclairage naturel.

Rappelons d'autre part que les feuilles de *Posidonies* tronquées naturellement ou artificiellement se nécrosent au bout de trois à quatre jours et meurent.

d. — Discussion

Nous avons pu, précédemment, montrer qu'il existait, pour les *Cymodocées*, 3 phases principales de croissance (cf page 137).

Ces différentes phases sont parfaitement explicables par l'influence de la température. En hiver, les températures méditerranéennes oscillent entre 11 et 13°C, ce qui provoque chez ces plantes un arrêt de croissance. Au printemps, l'eau s'échauffe et atteint des températures supérieures à 15°; la croissance reprend et atteint sa vitesse maximum pour décroître au début de l'été et s'arrêter quand la température de l'eau atteint des valeurs voisines de 25°C. En automne, la température décroît, et la croissance reprend.

Il en va de même pour les *Posidonies*, avec cette différence que ces dernières semblent s'adapter aux hautes températures, puisque leur optimum de croissance se situe entre 17 et 20°C.

La température joue un rôle nettement plus important que celui de la salinité, puisqu'elle permet d'expliquer leur développement *in situ* alors que la salinité ne semble pas, dans le golfe de Tunis au moins, être un facteur limitant dans la répartition des phanérogames marines.

Des auteurs, comme Ch. Ostenfeld (1918), ont rattaché l'endémisme de *Posidonia oceanica* et l'abondance de *Cymodocea nodosa* en Méditerranée aux conditions thermiques particulières de cette mer. Cette explication nous semble soutenable puisque, à notre connaissance, c'est la seule mer où les températures varient entre 11 et 30°C. Notons qu'il n'est plus possible de parler de sténothermie ou de sténohalie pour des plantes qui tolèrent de telles variations; il y a seulement des

valeurs optimales de température et de salinité pour lesquelles la croissance ou le développement sont maximums.

Nous avons pu constater, à propos des Cymodocées, que ces plantes vivent dans des conditions très variables; nous les avons rencontrées aussi bien aux environs des embouchures que dans les zones d'influence océanique, en profondeur et à quelques centimètres du plan d'eau.

3. ACTION DU SUBSTRAT

Les résultats obtenus par l'expérience ne sont pas déterminants, d'autant plus que la nature du substrat, s'il conditionne l'installation des Cymodocées et des Posidonies joue un rôle secondaire dans la croissance de ces plantes. En aquarium, la fixation étant faite artificiellement et les risques d'arrachage étant nuls, l'expérimentation perd dans ce cas toute sa signification.

Il ressort cependant de l'étude de la répartition des Phanérogames des exigences granulométriques spécifiques à chacune des deux espèces étudiées.

Posidonia oceanica préfère les fonds stabilisés et aérés. Une certaine agitation de l'eau est nécessaire pour éviter une trop grande accumulation d'alluvions.

Les fonds de sable coquillier, s'ils sont parfaitement aérés, sont par contre instables et entraînable par les courants, ce qui a pour effet de provoquer une accumulation excessive de ce sable au niveau des pousses de Posidonies et de causer l'enfouissement de la plante.

Un fond stabilisé, non aéré (cas des fonds sableux envasés), a pour effet d'étouffer le système sous terrain qui ne peut pas résister à l'anoxie.

Cymodocea nodosa : Comparable au chiendent dont les rhizomes ont la même croissance horizontale, cette plante s'adapte mieux aux sols instables (stations 44 à 53). Son extension nécessite même un alluvionnement saisonnier (automnal). Cet alluvionnement permet la fixation des rhizomes (cas des formations lagunaires) mais ne doit pas dépasser la vitesse de croissance des feuilles pour ne pas risquer de noyer la plante (cas des embouchures). L'envasement temporaire, lors de la saison pluviale par exemple, peut jouer un rôle dans la fixation des rhizomes, d'autant plus que cet apport de vase terrigène correspond à leur période d'allongement. L'envasement continu entraîne au niveau de ceux-ci une anoxie qui les détruit. C'est ainsi que nous les retrouvons à faible profondeur dans les formations lagunaires et les régions soumises à l'envasement, et, en profondeur, dans les parties du golfe qui ont un fond sableux plus ou moins instable.

CONCLUSION

Le golfe de Tunis a un aspect hydrologique et sédimentologique particulier. Atlantique par sa salinité, deltaïque par son fond, méditerranéen par sa température, il présente une variété de peuplements phytiaux dont l'étude écologique nous a permis d'acquérir une meilleure connaissance des conditions d'installation, de croissance et de développement des Monocotylédones marines. Un travail de trois ans nous autorise à décrire la région tant au point de vue hydrologique que sédimentologique.

La salinité est relativement faible; elle varie généralement entre 36 et 37,5‰ avec, cependant, des valeurs extrêmes aux environs des embouchures et dans les stations abritées au cap Carthage et La Goulette. Le minimum, 32‰, a été observé, durant la période des crues, à la station 22 (4ème chapitre). La température est homogène dans son ensemble, elle varie entre 13 et 25°C; les plus grandes amplitudes sont observées dans les stations côtières, particulièrement dans les formations lagunaires à Cymodocées plus ou moins isolées du large.

La turbidité de l'eau est très variée d'une station à une autre : négligeable entre Ras Fortas et Ras Ahmar, saisonnière et de courte durée entre Ras Fortas et Sidi Erraïs, elle est permanente entre Ez-Zahra et La Goulette et dure cinq à sept mois tout le long de la côte occidentale.

Du point de vue granulométrique, le Golfe de Tunis montre un cycle annuel : la région sous influence océanique au nord de Ras Fortas n'est pratiquement pas intéressée par les alluvions sablo-vaseuses de Méliane et de la Medjerdah. Au sud de ce Ras, l'envasement intéresse accidentellement la région de Sidi Erraïs (fig. 14).

A l'Ouest de Hammam-Lif et le long de la côte occidentale il y a un envasement automno-hivernal qui envahit les faibles profondeurs; seule une bande côtière échappe à ce phénomène (2ème chapitre). En été, l'envasement s'atténue et se limite aux profondeurs moyennes. Nous distinguons ainsi trois zones bien distinctes :

- une zone sableuse littorale;
- une zone à envasement automno-hivernal comprise entre 5 et 20 m de profondeur;
- une zone à envasement permanent profond.

La richesse en matière organique varie avec les saisons et la profondeur; les régions à grand alluvionnement ont une richesse relativement faible et le substrat des mattes a une

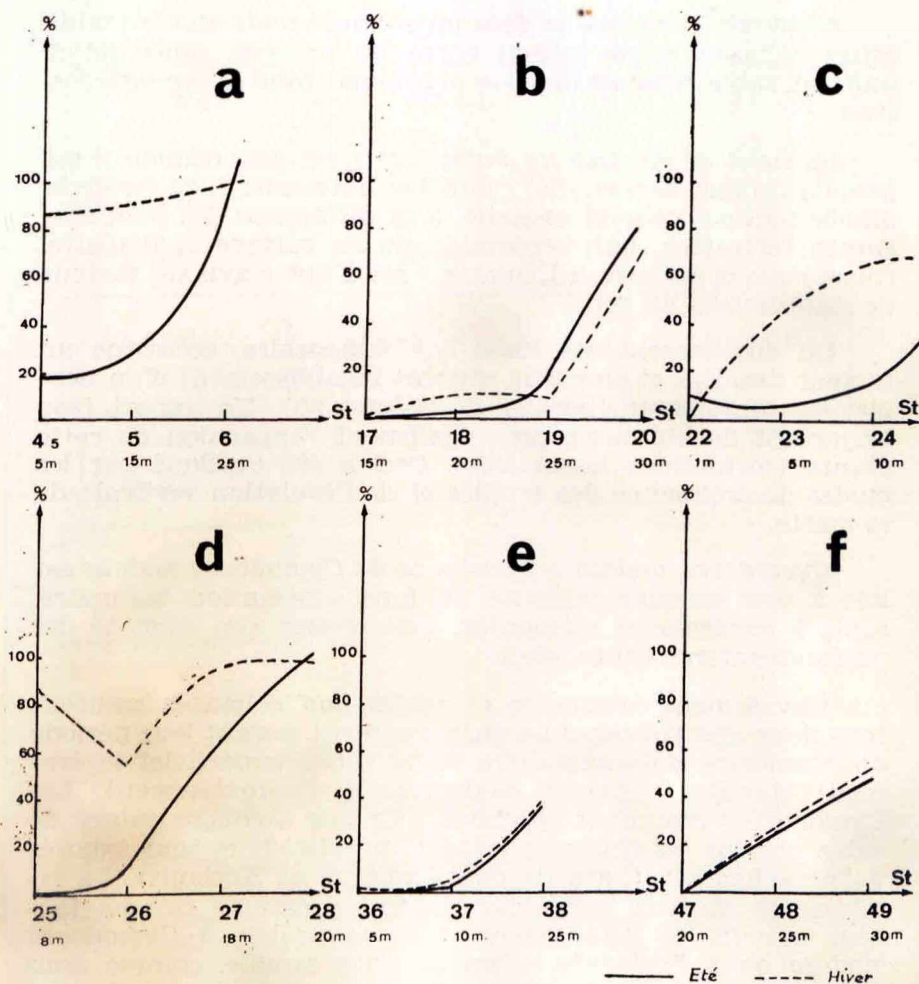


Fig. 14. Distribution de la VTC en fonction de la profondeur année 1969.

teneur élevée due à un enrichissement postérieur à l'installation de la matre (3ème chapitre).

Ces différents facteurs écologiques agissent plus ou moins sur l'installation des graines d'une part et sur leur développement d'autre part.

1. Installation

En comparant les figures 4, 5 et 6, nous avons constaté que les deux espèces : *Posidonia oceanica* et *Cymodocea nodosa* exigent deux substrats à structures différentes. L'influence des facteurs hydrologiques nous semble secondaire, à ce stade de l'installation.

Posidonia oceanica préfère un sol aéré mais stable (sable côtier colmaté, sable retenu entre les rochers, sable côtier profond, sable riche en matière organique, fond à *Cymodocées*, etc.).

La richesse en matière organique n'est pas, comme il est jusqu'à présent admis, une condition nécessaire à la vie de la plante puisque celle-ci assimile, à la différence des phanérogames terrestres, par l'ensemble de sa surface radiculaire, rhizomique et foliaire. « L'humus » est à notre avis un facteur de stabilisation du sol.

Un envasement, ne fusse que temporaire, constitue un facteur limitant et empêche souvent l'établissement d'un herbier de profondeur (herbier de Salammbô). Un apport trop important de sédiment gêne également l'expansion de cette plante (formations lagunaires). Ceci a été expliqué par les modes de croissance des feuilles et de l'évolution verticale de la matte.

Cymodocea nodosa : l'existence de *Cymodocea nodosa* est liée à une certaine mobilité du fond (formation lagunaire, sable à envasement saisonnier, sable côtier non colmaté des profondeurs moyennes, etc.).

Envasement saisonnier et sables non colmatés assurent tous deux aux rhizomes un enfouissement durant leur période de croissance automnale. Un sable côtier superficiel légèrement stabilisé convient également à l'enfouissement. Les *Cymodocées* craignent cependant les sols à couche mince de sable puisque les rhizomes restent superficiels et sont exposés à l'arrachement (nord de cap Kamarth et Korbous). La richesse en matière organique souvent présentée comme facteur sélectif de l'établissement d'une prairie à *Cymodocea nodosa* ou à *Posidonia oceanica*, nous semble, comme nous l'avons suggéré plus haut, être liée à un stade de stabilisation du sol plus ou moins avancé. Au niveau des racines, *Cymodocées* et *Posidonies* disposent, dans la région de Salammbô, de la même quantité d'humus (8 à 8,15 %). Les valeurs parfois élevées, trouvées dans les mattes à *Posidonies*, correspondent à un enrichissement ultérieur, alors que l'accumulation souvent importante de sable lessivé dans les prairies à *Cymodocées* donne des teneurs relativement faibles. Le schéma d'évolution du substrat, en fonction de la végétation (fig. 15), met en évidence les exigences des deux espèces et l'importance capitale de la structure du fond dans l'installation de chacune d'elles. Nous avons cultivé expérimentalement des rhizomes sans racines et la croissance foliaire a continué dans de bonnes conditions, ce qui renforce l'hypothèse que l'humus n'a pas la même action que pour les végétaux terrestres.

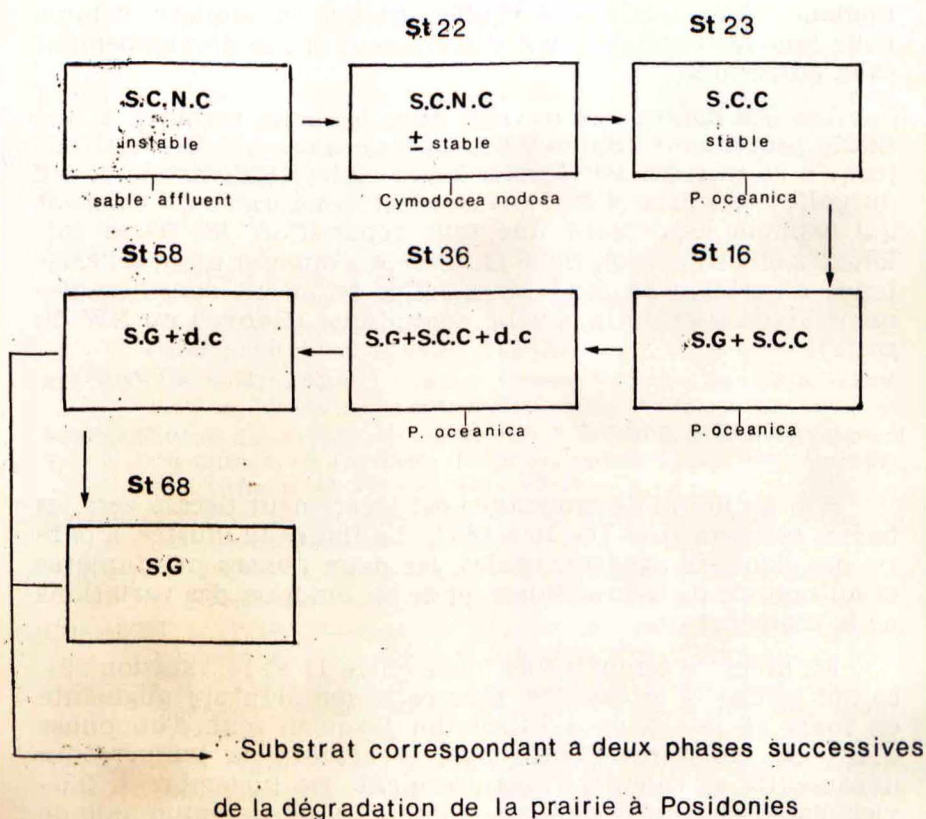


Fig. 15. Evolution du substrat en fonction de la couverture végétale.
a) région de Raouad; b) région de cap Carthage; c) région de Sallambô; d) région de La Goulette; e) région de Sidi Errais; f) région dunord de Ras Fartas.

2. Croissance et développement

Les études, *in situ* et expérimentales, de la croissance et du développement nous ont aidé à mieux comprendre les différentes exigences et à expliquer le comportement écologique des deux Monocotylédones.

Posidonia oceanica

Sa croissance est fonction de la température; nulle à 10,5°C, elle croît et atteint un optimum entre 17 et 20°C puis décroît et s'annule à 30°C.

Ces valeurs correspondent au cycle annuel de croissance ce qui prouve l'action prépondérante de ce facteur sur ce phé-

nomène. Nous admettons également que la lumière, comme pour tous les végétaux, agit directement sur le développement et la croissance.

Les Posidonies se trouvent, dans les eaux turbides, à une faible profondeur (Salammbô, Radès), alors qu'elles arrivent jusqu'à 35 m dans les régions à eau claire (Sidi Erraïs et NE du golfe). En dehors de l'envasement temporaire du substrat qui explique également une telle répartition, les bases colloïdales en suspension nous paraissent s'opposer aussi à l'existence d'herbiers de fond puisqu'elles réduisent considérablement l'épaisseur de la couche euphotique (Raored au NW du golfe).

Cymodocea nodosa

Son optimum de croissance est légèrement décalé vers les basses températures (de 15 à 18°C). La figure 12 illustre, à partir des données expérimentales, les deux phases printanières et automnale de la croissance, et ce en fonction des variations de la température.

En hiver, la température varie entre 11 et 14° (station 22), ce qui inhibe la croissance, puis cette température augmente en mars et se trouve à l'optimum jusqu'en mai, d'où phase active de croissance. Entre juin et octobre, la température dépasse 18° et ralentit l'accroissement. De novembre à janvier, l'abaissement thermique explique la phase automnale de grande activité chez la plante.

Notons également la réduction de l'aire de croissance ralentie, en profondeur : ceci entraîne une période d'activité plus longue les Cymodocées profondes et explique, à notre avis, le rabougrissement relatif des feuilles dans les formations lagunaires superficielles.

L'éclairage semble également intervenir dans le cycle végétatif annuel; moins exigeante que *Posidonia*, *Cymodocea* tolère mieux une certaine turbidité de l'eau.

Dans le golfe de Tunis, en particulier, et en Méditerranée en général, les variations de la température et de la durée d'éclairage sont intimement liées et l'action de l'une se confond avec celle de l'autre. Dans les conditions expérimentales, nous remarquons cependant qu'une réduction en durée ou en intensité de l'éclairage provoque une chute prématurée des feuilles. Intensité et durée d'éclairage peuvent se compenser sans se remplacer; une forte intensité semble nécessaire mais non suffisante pour un bon développement de la plante.

BIBLIOGRAPHIE

- ALEEN A. (1955). — Structure and evolution of the sea grass communities *Posidonia* and *cymodocea* in the Southeastern Méditerrananean in *Essays in the natural sciences in honor of Captain Allan Hancock* : 279-298. Los Angeles, University of Southern California Press.
- BATTANDIER et TRABUT (1895). — Flore de l'Algérie, t. 1, Alger et Paris (supplément (1910)).
- BENACCHIO H. (1938). — Osservazioni sistematiche e biologiche sulle Zosteracee dell'Alto Adriatico. *Thalassia*, t. 3, n° 3 : 41 p.
- BEN ALAYA H. (1969). — Mise en place des herbiers à phanérogames marines et des peuplements algaux dans le golfe de Tunis. *Bull. Inst. Océanogr. Pêche, Salammbô*, t. 1, n° 3 : 113-122.
- BERKALOFF E. et MENARD P. (1940). — Corrosin biologique dans les puits artésiens en Tunisie. *Arch. Inst. Pasteur, Tunis*, t. 29, n° 4.
- BOUDOURESQUE C.F. (1968). — Contribution à l'étude du peuplement épiphyte des rhizomes de Posidonies (*Posidonia oceanica* Delile). *Rec. Trav. Sta. mar. Endoume*, n° 59 (Bull. 43) : 45-64.
- CALLOT C. (1953). — Les moyens mis en oeuvre en Tunisie pour l'étude des crues de La Medjerdah. *La Houille Blanche*, n° 3 : 395-408.
- CASTANY C. (1955). — Le Haut Bassin siculo-tunisien. Etude de morphologie et géologie sous-marine. *Bull. Sta. océanogr. Salammbô*, n° 52 : 3-17.
- CHAMBOST L. (1928). — Essai sur la région littorale dans les environs de Salammbô. *Bull. Sta. océanogr. Salammbô*, n° 8 : 28 p.
- DANOY H. et KERNEIS A. (1958). — Description d'un appareil pour l'étude hydrologique de certains milieux benthiques. *C.R. Acad. Sci., Paris*, t. 247 : 1224-1225.
- DUCHARTRE P. (1872). — Quelques observations sur les caractères anatomiques des *Zostera* et *Cymodocea*, à propos d'une plante trouvée près de Montpellier. *Bull. Soc. bot. Fr.*, t. 19 : 281-301.
- FREUNDLER P. et PILAUD M. (1930). — Sur l'eau normale Méditerranéenne. 1ère partie : Historique. Discussion des méthodes. Propositions. *Bull. Sta. océanogr. Salammbô*, n° 19 : 30 p.
- FREUNDLER P. et QUAISNET-PILAUD M. (1932). — Sur l'eau normale Méditerranéenne, 2ème partie : Travail expérimental. Résultats. Conclusions. *Bull. Sta. océanogr. Salammbô*, n° 26 : 19 p.
- GUYOT M.A. (1951). — Hydrologie du canal de Sicile. *Bull. Inf. COEC*, t. 3, n° 7 : 269-280.
- HARMELIN J.G. (1964). — Etude de l'endofaune des « mattes » d'herbiers de *Posidonia oceanica* Delile. *Rec. Trav. Sta. mar. Endoume*, fasc. 51 (Bull. 35) : 43-106.
- JAUZEIN A. (1967). — Contribution à l'étude géologique des confins de la Dorsale tunisienne (Tunisie septentrionale). *Ann. Mines. Géol., Tunis*, n° 22 : 475 p.
- KERNEIS A. (1960). — Contribution à l'étude faunistique et écologique des herbiers à Posidonies de la région de Banyuls. *Vie et milieu*, t. 11, n° 2 : 145-187.
- LE DANOIS Ed. (1960). — Recherches sur les fonds chalutables des côtes de Tunisie. *Ann. Sta. océanogr. Salammbô*, n° 1 : 56 p.
- LUBET P. et AZOUZ A. (1969). — Etude des fonds chalutables du golfe de Tunis. *Bull. Inst. Océanogr. Pêche, Salammbô*, t. 1, n° 3 : 87-112.

- MOLINIER R. et PICARD J. (1952). — Recherches sur les herbiers de Phanérogames marines du littoral Méditerranéen français. *Ann. Inst. océanogr.*, Paris, t. 27, n° 3 : 157-234.
- MOLINIER R. et PICARD J. (1953 a). — Etudes biologiques sur les herbiers de Phanérogames marines à l'Ouest d'Alger. *Bull. Sta. Aquic. Pêche, Castiglione*, n° 4.
- MOLINIER R. et PICARD J. (1953 b). — Notes biologiques à propos d'une voyage d'étude sur les côtes de Sicile. *Ann. Inst. océanogr.*, Paris, t. 28, n° 4 : 163-188.
- MOLINIER R. et PICARD J. (1954). — Eléments de bionomie marine sur les côtes de Tunisie. *Bull. Sta. océanogr. Salammbô*, n° 48 : 54 p.
- MOLINIER R. et ZEVACO C. (1962). — Etudes écologiques et biocénétiques dans la baie du Brusc (Var), Fasc. 3 : Etude statistique et physiologique de la croissance des feuilles de Posidonies (*Posidonia oceanica* Delile) *Bull. Inst. océanogr. Monaco*, n° 1234 : 46 p.
- MURAOUR P. (1959). — Etude sismique par refraction au large du Bassin de La Medjerdah. *Bull. Sta. océanogr. Salammbô*, n° 53 : 23 p.
- OSTENFELD C.H. (1918). — Sea-Grasses. *Rep. danish. Océanogr. Exp. 1908-10, Med. adj. Seas*, n° 5, t. II. Biology, t. 2 : 18 p.
- PERES J.M. (1961). — Océanographie biologique et biologie marine. 1. La vie benthique. Paris, Presses universitaires de France : 542 p.
- PERES J.M. (1967). — Les peuplements benthiques méditerranéens, *Océanogr. Mar. Biol. Rev.*, t. 5 : 449-533.
- PERES J.M. et PICARD J. (1955). — Biotopes et biocénoses de la Méditerranée Occidentale comparées à ceux de la Manche et de l'Atlantique Nord-Oriental. *Arch. Zool. exp. gén.*, t. 92 : 1-70.
- PERES J.M. et PICARD J. (1958). — Manuel de bionomie benthique de la Mer Méditerranée. *Rec. Trav. Sta. Mar. Endoume*, n° 23 (Bull. 14) : 122 p.
- PERES J.M. et PICARD J. (1964). — Nouveau manuel de bionomie benthique de la Mer Méditerranée. *Rec. Trav. Sta. mar. Endoume*, n° 47 (Bull. 31) : 137 p.
- PIMIENTA J. (1959). — Le cycle pliocène actuel dans les bassins paraliques de Tunis; *Mém. Soc. géol. Fr.*, t. 38 (Mem. 85) : 176 p.
- POTTIER J. (1929). — Etude sur les possibilités d'utilisation des plantes marines pour la nourriture du bétail. *Ann. Inst. océanogr.*, Paris, t. 6, n° 3 : 321-362.
- REISS R. et VELLINGER E. (1929). — Mesure du pH de l'eau de mer aux environs de Tunis en vue d'une application à l'étude des migrations du thon. *Bull. Sta. océanogr. Salammbô*, n° 15 : 19 p.
- SAUVAGEAU G. (1889). — Contribution à l'étude du système mécanique dans la racine des plantes aquatiques. Les *Zostera*, *Cymodocea* et *Posidonia* *J. Bot.*, Paris, n° 3 : 169-181.
- SAUVAGEAU G. (1890). — Observations sur la structure des feuilles des plantes aquatiques. *J. Bot.*, Paris, n° 4 : 41-50, 68-76, 117-126, 129-135, 181-192, 221-229, 237-245.
- SAUVAGEAU G. (1891). — Sur les feuilles de quelques monocotylédones aquatiques - Paris, Masson (Thèse).
- SIMONETTI G. (1967). — Variazioni nei popolamenti di zosteracee nel Golfo di Trieste durante gli ultimi decenni. *Arch. Oceanogr. Limn.*, suppl. t. 15 : 107-114.