

NORIND U.D

D. Labrousse

REPUBLIQUE TUNISIENNE
MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE
Commissariat Général à la Pêche

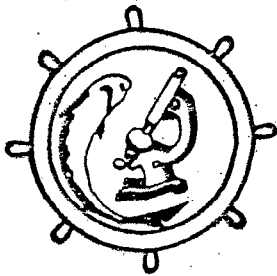
I N S T O P

Rapports

et

Documents

N° 2 — 1986



Publication trimestrielle

de l'Institut national scientifique et technique

d'océanographie et de pêche de Salammbô

2025 Salammbô — Tél. : 730.420 - 730.548

Fonds Documentaire ORSTOM

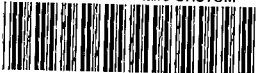
Cote : Ax 16158 et x 16159
Ex:

ÉTUDE DE LA LAGUNE EL BIBANE :

I- LES CONDITIONS DE MILIEU

J. LEMOALLE
Hydrobiologiste ORSTOM
ORSTOM, Tunis

Fonds Documentaire ORSTOM



010016158

Fonds Documentaire ORSTOM
Cote : A* 16158 Ex :

Sommaire

LEMOALLE (J.): Etude de la lagune El Bibane:

I- Les conditions de milieu.

Résumé

La lagune El Bibane, avec une superficie de 230 km² et une profondeur moyenne de 4 m, est reliée à la mer par une passe de 400 m de large. Les apports continentaux sporadiques, et les précipitations, sont négligeables par rapport aux échanges à travers la passe qui maintiennent une salinité comprise entre 40 et 50. La majeure partie des fonds est recouverte de cymodocées, qui forment la base de la chaîne alimentaire.

Les vents journaliers sont forts (moyenne annuelle 460 km/jour), sans variation saisonnière notable, et empêchent toute stratification stable de la masse d'eau dont la température moyenne a varié entre 8° et 29°C (1980-83).

VIDY (G.) Etude de la lagune El Bibane:

II- Production et biologie de la pêche.

Résumé

Le rendement moyen de la pêche à la lagune El Bibane avoisine, pour les années d'exploitation normale, les 25 kg/ha soit une production moyenne de 570 tonnes annuelles. L'exploitation est partagée entre l'Office national des pêches, d'une part, qui met en oeuvre un barrage de pêche, des équipes de pêche à la ligne et, d'autre part, des pêcheurs privés qui utilisent des filets trémail.

Le barrage assure environ 60% de la production globale, la pêche intralagunaire contribue pour 25 à 30%, le reste est assuré par les lignes et quelques opérations de pêche au filet menées par l'ONP.

Les espèces principales sont le spars (D.annularis), la daurade (S.aurata), la sole (S.vulgaris), le loup (D.labrax) et diverses espèces de muges.

Quelques recommandations sont proposées. Elles visent à l'amélioration de l'entretien du barrage de pêche et des conditions de son exploitation ainsi qu'au renforcement de la pêche intralagunaire. Ces modifications devraient permettre d'atteindre, sans investissements démesurés, un rendement de 30 kg/ha.

ETUDE DE LA LAGUNE EL BIBANE

	pages
LES CONDITIONS DU MILIEU	
INTRODUCTION	3
1 - MORPHOMETRIE	4
surface et profondeur	5
2 - CLIMAT	8
données de la météorologie nationale	
mesurs à El Bibane	13
3 - NIVEAU DE L'EAU	
Le niveau en mer	20
Le niveau en lagune	22
4 - TRANSPARENCE DE L'EAU	27
5 - TEMPERATURE DE L'EAU ET STRUCTURE THERMIQUE	
température dans la passe	32
structure thermique face à la passe	36
structure thermique sur la radiale Jedaria - El Marsa	40
quelques exemples de répartition des températures superficielles	42
répartition des structures thermiques	42
6 - OXYGENE DISSOUS	
méthode	42
résultats	48
remarques générales	49
7 - SALINITE	
salinité de surface sur la radiale	51
salinité de surface sur l'ensemble de la lagune	51
salinité en profondeur	56
8 - VEGETATION	
phytoplancton	56
herbiers de fond	59
9 - CHIMIE DE L'EAU ET NUTRIMENTS	59
alcalinité	60
azote et phosphore	62
10 - ELEMENTS DU FONCTIONNEMENT DE LA LAGUNE	
bilan hydrique annuel	64
bilan salin	67
caractéristiques hydrauliques de la passe	68
turbulence de l'eau	69
éclairage au fond	73
CONCLUSION	77
REFERENCES	78

ETUDE DE LA LAGUNE EL BIBANE

LES CONDITIONS DE MILIEU

INTRODUCTION

En préalable à tout schéma d'aménagement et de gestion des pêches, il est nécessaire de disposer d'une connaissance suffisante des caractéristiques et du fonctionnement d'une lagune. C'est dans ce but qu'un programme d'étude de l'hydroclimat et de la biologie des pêches de la lagune El Bibane (1981-1984) a été initié par l'Office National des Pêches de Tunisie. Il semblait en effet raisonnable de penser que la pêche dans une telle lagune pouvait produire annuellement plus que les 23 kg/ha actuels. Les aménagements devaient tenir compte, entre autres, des caractéristiques écologiques du système.

Les résultats présentés ici portent sur l'hydroclimat, terme qui englobe les conditions de milieu dans lesquelles vivent les organismes aquatiques. Ils sont partie intégrante du programme cité plus haut dont les résultats n'ont jusqu'ici été diffusés qu'en partie (LEMOALLE, VIDY, 1984) ou de façon très restreinte (LEMOALLE, VIDY, FRANC, 1984). Ils complètent par ailleurs d'autres études portant sur la sédimentologie et la géochimie (KEER, 1976 ; MEDHIOUB, 1979), le benthos (GUELORGET et al., 1982) ou les conditions d'exploitation (non publié).

Programme réalisé en coopération entre l'Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération (ORSTOM), l'Office National des Pêches et le Commissariat Général à la Pêche de Tunisie.

1. MORPHOMÉTRIE.

1.1. Situation

La lagune El Bibane est séparée de la mer par un cordon littoral fossile de calcaire eolithique tyrrhénien et daterait, dans sa configuration actuelle, de la transgression flandrienne de 9 000 ans BP (MEDHIOUB, 1979). La partie centrale de ce cordon est scindée sur environ 2,5 km en une série de 9 petits flots séparés par des passes. Sur la plus grande de ces îles (1 ha), entourée des deux passes les plus profondes, se trouve la pêcherie qui exploite le barrage de pêche. Des murs bas, en pierre, barrent toutes les autres passes. Ils sont submergés lors des hauts niveaux de la mer.

Le nom d'El Bibane désigne aussi bien la série de passes que l'îlot principal ou la lagune dans son ensemble. Cette dernière, plus exactement nommée Bahiret El Bibane, est approximativement centrée sur 33° 15' N et 11° 15' E.

A son extrémité ouest, la lagune est reliée à une sebkha supra tidale, ancien delta comblé de l'oued Fessi, épisodiquement inondée par les hautes eaux de la lagune ou par les pluies. Cette sebkha Boujmel est reliée à la lagune par le bras d'El Mekkhada. Il existe également une sebkha à l'extrémité Sud-Est, mais de moindre étendue.

Les principaux éléments de toponymie sont rappelés figure 1.1.

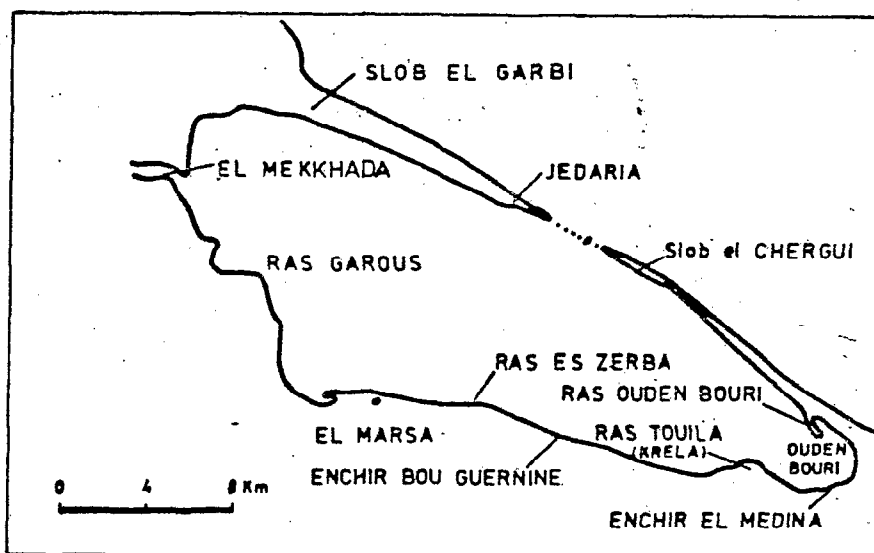


Figure 1.1. - Carte schématique de la lagune El Bibane : toponymie

1.2. Surface et profondeur

La surface en eau de la lagune est de 230 km². Cette valeur peut être trouvée par planimétrie des cartes marines, et a également été vérifiée sur des images récentes de satellites Landsat. La valeur de 300 km², parfois utilisée dans des publications ou rapports, inclut peut-être la sebkha BouJmel, qui n'est que rarement et partiellement inondée.

La carte hydrographique actuellement disponible (de Zarzis à Ras Ashdir), a été levée par le Service Hydrographique de la Marine Française en 1885-86. L'édition actuelle, à l'échelle 1/64 650, est celle de 1939. Elle comporte de nombreuses sondes dans la lagune elle-même, sauf dans sa partie ouest. Des compléments ont été apportés par KEER (1976) et MEDHIOUB (1979).

KEER signale plusieurs monticules, d'une dizaine de mètres de diamètre et de plusieurs mètres de hauteur, dont il attribue l'origine à des mattes de posidonies (une seule de ces structures a été retrouvée en 1982, au Nord-Est de Bou Guernin). Le même auteur a vérifié par écho-sondage que les sondes de 1885-86 restent valables.

MEDHIOUB (1979) a "complété par quelques coups de sonde" la carte hydrographique. Il décrit une vallée prolongeant l'oued Fessi, et dessine les isobathes pour chaque demi-mètre.

Aucun de ces deux auteurs ne précise la relation utilisée pour convertir les profondeurs observées en niveaux hydrographiques.

D'après les descriptions contenues dans la reconnaissance hydrographique des côtes de Tunisie, 1882-86 (S.H.M., 1890), qui décrit les méthodes utilisées pour dresser la carte, le zéro hydrographique est à 16 cm en dessous des plus basses mers observées à Gabès, soit 112 cm en dessous du niveau moyen. Compte tenu des différences du coefficient d'amplitude entre Gabès et Zarzis (100 et 33), le zéro hydrographique à El-Bibane serait 54 cm en dessous du niveau moyen. La profondeur moyenne de la lagune doit donc être supérieure de 54 cm aux sondes notées sur la carte.

Des transects d'écho-sondage ont été effectués les 16 et 17 mars 1982, et les profondeurs ramenées à un niveau d'eau $H = 50$ de notre échelle d'El-Bibane, ce qui correspond sensiblement au niveau moyen. Le sondeur-enregistreur était étalonné sur le disque de Secchi descendu à des profondeurs croissantes par intervalles de 1 m. Les transects ont été faits entre points connus, à vitesse constante et par temps très calme (figure 1.2.).

Comparées aux sondes de la carte hydrographique, les profondeurs observées sont systématiquement supérieures. La différence est de 70 cm sur la radiale Jedaria-El Marsa, près de 100 cm entre Bou Guernin et Enshir Sobani (figure 1.3.).

Faute d'indications plus précises sur les conditions dans lesquelles ont été effectuées les sondes de 1886, il est difficile de conclure sur les différences observées. On ne sait pas, en effet, quelle amplitude de marée (de mer ou de lagune ?) a été utilisée pour la correction des observations.

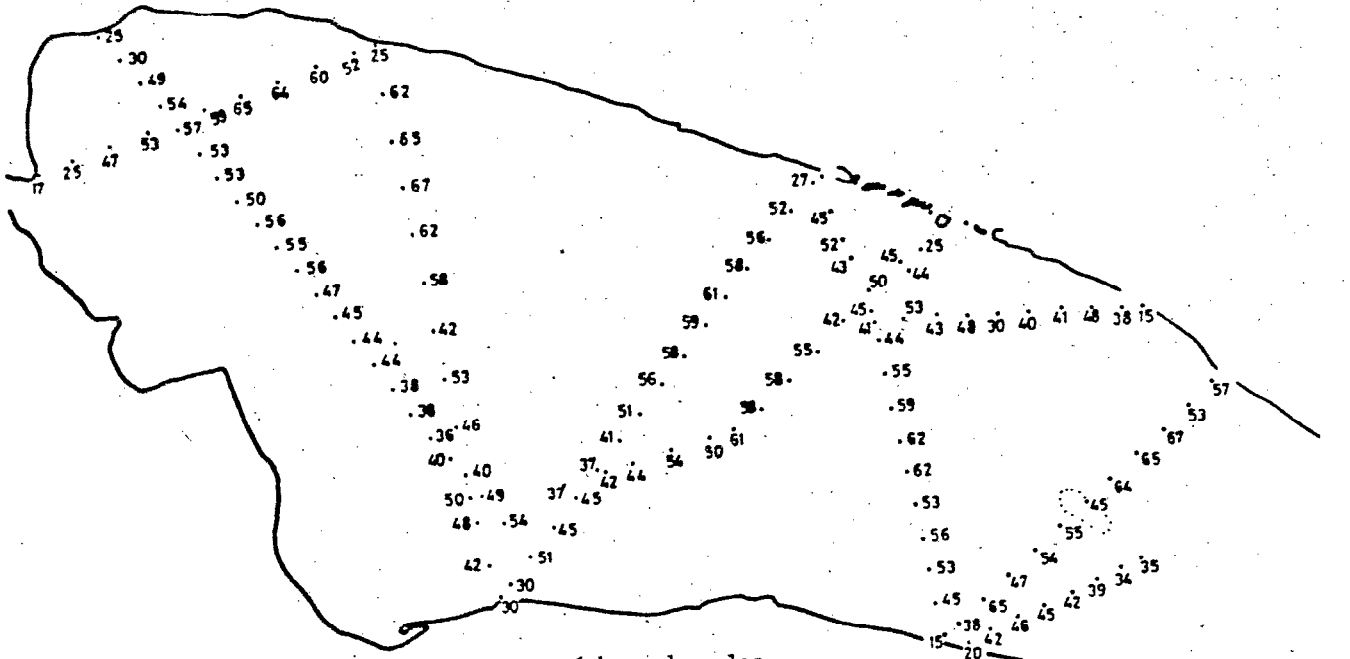


Figure 1.2 - Profondeurs mesurées par échosondage les 16 et 17 mars 1982. Les valeurs sont exprimées en dm et ramenées au niveau moyen de la lagune.

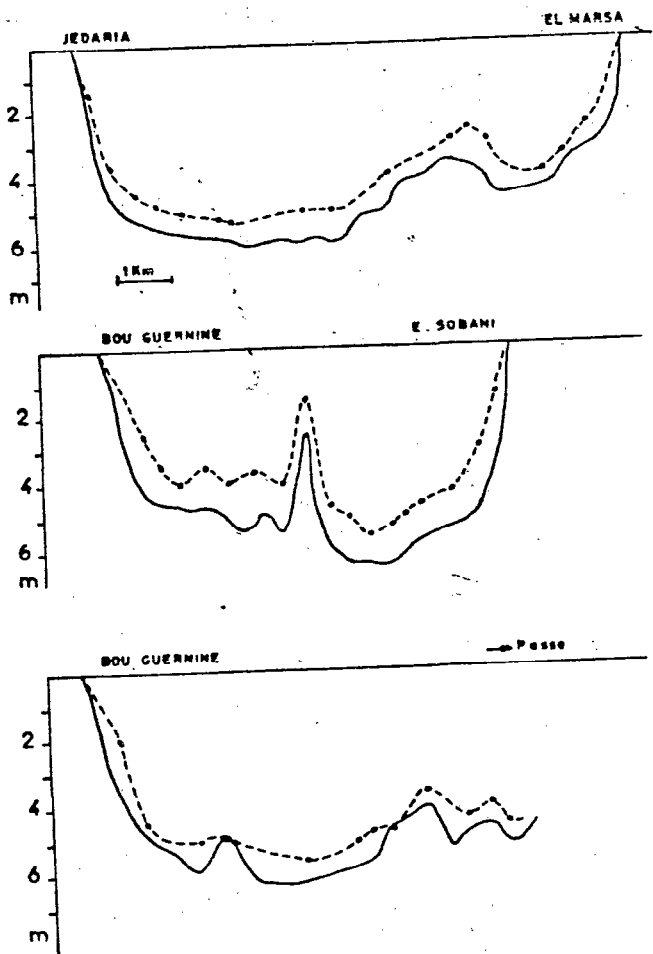


Figure 1.3 -

Comparaison de quelques transects de sondages : en continu, sondages de mars 1982; en tireté, profondeurs notées sur la carte marine.

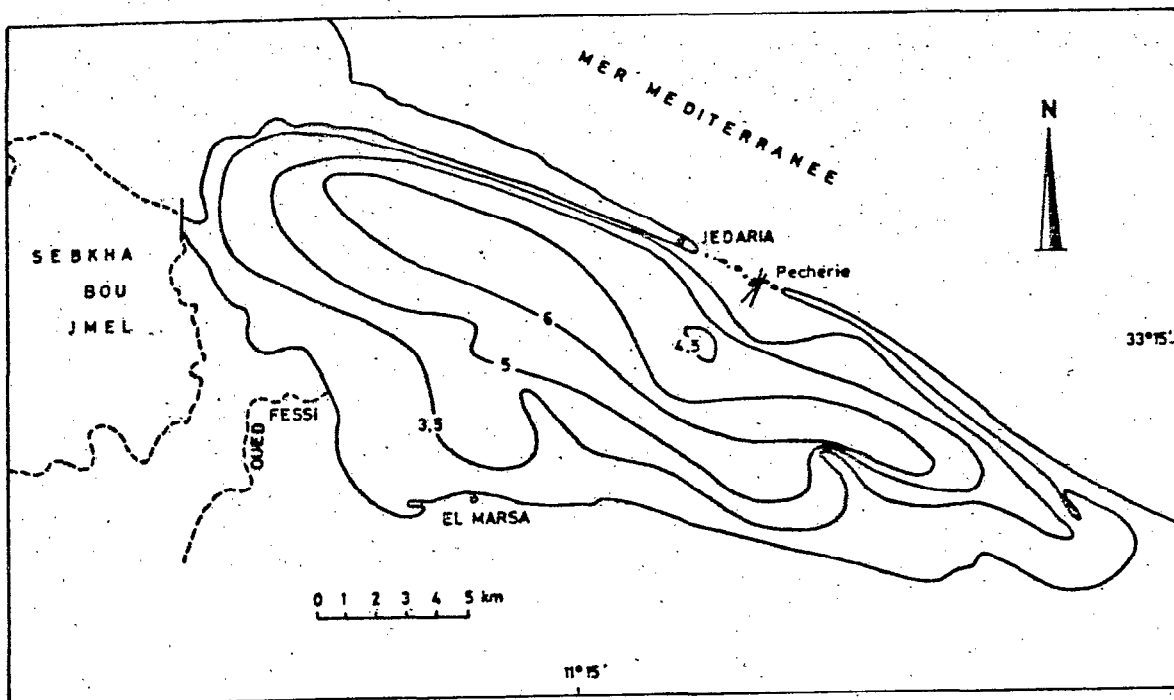


Figure 1.4. Carte schématique des profondeurs de la lagune pour un niveau moyen de l'eau.

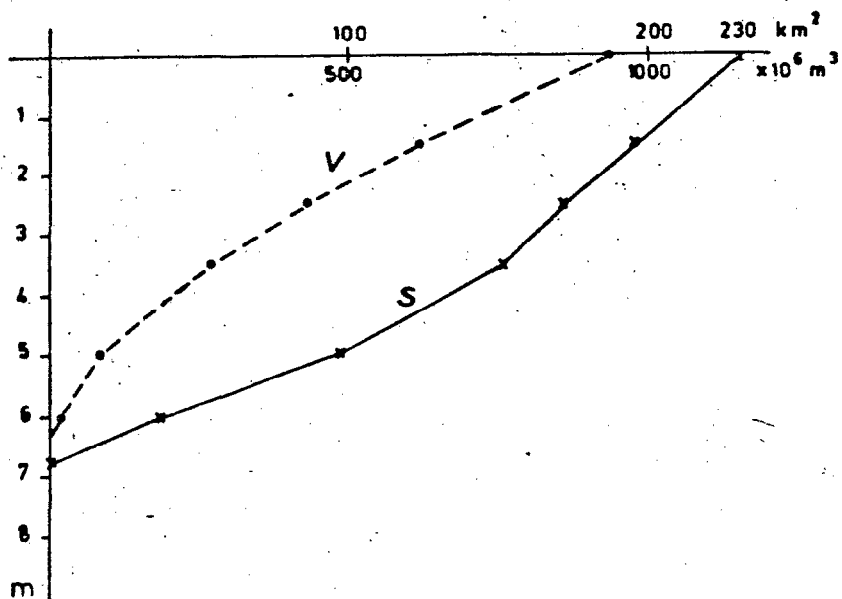


Figure 1.5. Relations entre la profondeur, la surface (trait plein) et le volume (tireté) de la lagune El Bibane

Utilisant la carte marine et nos observations, avec un zéro hydrographique à - 54 cm du niveau moyen, une carte schématique des profondeurs a été tracée (figure 1.4.). Par planimétrie de cette carte, on obtient les courbes surface-profondeur et volume-profondeur (figure 1.5.).

Le volume moyen de la lagune est alors $V = 934.10^6 \text{ m}^3$ d'où une profondeur moyenne $Z = 4,06 \text{ m}$.

Quelques transects d'écho-sondage ont été également effectués dans la passe. Son relief est compliqué et nécessiterait une étude particulière. Elle comporte différentes fosses individualisées dont la plus profonde est de 16 m.

2. LE CLIMAT

L'évolution saisonnière et la productivité d'une lagune ou d'un lac peu profond dépendent en partie de facteurs climatiques : température de l'eau (production primaire et productivité au sens large), rayonnement incident (photosynthèse), vent, température et humidité de l'air (évaporation, bilan hydrique et turbulence). C'est pourquoi quelques données climatiques importantes pour la lagune sont présentées ici. Elles proviennent soit des stations de l'Institut National de Météorologie (INM) et des stations du Ministère de l'Agriculture (Zarzis et Ben Gardane), soit de mesures effectuées à El Bibane au cours du programme CGP - ORSTOM.

2.1 - Données de la Météorologie Nationale

Les stations de Jerba, Zarzis et Ben Gardane fournissent une bonne image du climat de la région d'El Bibane. Les données de vent, d'insolation, de rayonnement global et de tension de vapeur d'eau ne sont disponibles que pour Jerba (INM, Bulletin climatologique mensuel). La pluviométrie est indiquée pour les trois stations, et nous n'avons retenu que Zarzis pour les températures moyennes mensuelles.

- Le vent à Jerba

Les observations à 6, 12 et 18 heures ont été regroupées pour 1961-70 par l'INM sous forme de tableau de fréquences en vitesse et direction.

Les vents dominants sont de secteur W et N en hiver et en automne, tandis qu'ils soufflent d'E et NE en été et au printemps.

En ce qui concerne les vitesses, le tableau de l'INM peut être schématisé comme suit :

Vitesse m.s^{-1}	Fréquence %	Vent moyen
0 - 2	14	1
2 - 5	38,9	3,5
5 - 9	37,8	7
9 - 18	9,1	13,5
19 - 28	0,2	23

Si nous attribuons comme vitesse moyenne à chaque classe de fréquence la moyenne des bornes de la classe, le vent moyen à Jerba (altitude 3 m) est de 421 km.d^{-1} soit $17,6 \text{ km.h}^{-1}$.

- Rayonnement global et insolation à Jerba

Les mesures de rayonnement global à Jerba ont cessé en janvier 1981. Nous donnons ici les moyennes mensuelles du rayonnement global G ($\text{cal.cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$), le coefficient de variation de G au cours du mois et l'insolation journalière exprimée en dixièmes d'heure (Tableau 2.2.). Une étude des données journalières montre que les forts coefficients de variation de G en avril, novembre et décembre sont dus à 5 ou 6 jours particulièrement couverts dans le mois, tandis qu'en janvier, février et mars les distributions du rayonnement sont très régulières.

mois	G	CV %	I
J	309	15	76
F	326	20	74
M	450	27	83
A	495	33	83
M	610	12	102
J	672	9	119
J	708	5	126
A	635	5	119
S	528	11	101
O	409	14	83
N	273	32	61
D	243	33	67
moyenne	451,8		91,1

Tableau 2.2. - Rayonnement global - ($\text{cal. cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)
coefficient de variation de G (%) et insolation (0,1 h)
à Jerba en 1980 (d'après INM)

Le rayonnement global moyen en 1980 a donc été de $451,8 \text{ cal. cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ soit $1890 \cdot 10^4 \text{ J.m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$. Cette valeur est importante, presque égale à celle des régions équatoriales (exemple du lac George, Uganda (latitude 0° , $G = 1980 \cdot 10^4 \text{ J.m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$) et supérieure à celle d'Abidjan (latitude 5° N , G moyen $1550 \cdot 10^4 \text{ J.m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$).

Au cours de l'année, le rayonnement mensuel varie dans un rapport de 1 à 3, avec des valeurs estivales très élevées. L'originalité de cette situation sud-méditerranéenne est illustrée figure 2.1. où sont également représentés deux exemples de région tempérée (lac Léman, latitude 46° N , rapport 1 à 8) et de région intertropicale sahélienne (lac Tchad, latitude 13° N , rapport 1 à 1,1).

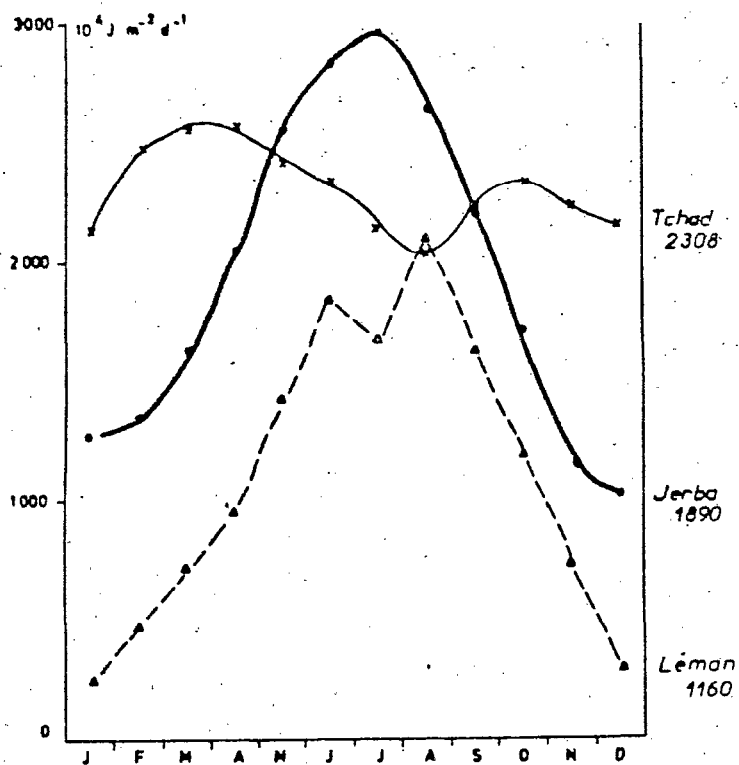


Figure 2.1 - Comparaison de l'évolution saisonnière du rayonnement global incident en climat tropical (lac Tchad), méditerranéen (Jerba) et tempéré (lac Léman)

- Les pluies dans la région d'El Bibane

Les stations de Jerba, Zarzis et Ben Gardane ont été utilisées pour rendre compte des pluies annuelles dans la région d'El Bibane.

En effet, si, en général, les trois stations indiquent simultanément les années sèches et les années pluvieuses, elles présentent entre elles des différences notables et de signe variable (tableau 2.4, figure 2.2.). Les stations côtières présentent une moyenne plus élevée que Ben Gardane et peuvent être de bons indicateurs des précipitations sur la lagune El Bibane. Ben Gardane, par contre, peut être mieux corrélée aux débits de l'oued Fessi, seul tributaire d'eau douce de la lagune.

Les données de l'INM depuis 1960 sont rassemblées dans le tableau 2.3 (l'année climatique commence le 1er septembre et dure jusqu'au 31 août). De 1960 à 1980, la moyenne annuelle et les coefficients de variation ont été

à Jerba	244,5 mm	CV = 65 %
à Zarzis	288,0 mm	CV = 70 %
à Ben Gardane	189,5 mm	CV = 65 %.

Année	Jerba	Zarzis	Ben Gardane
1960-61	130,6	239,8	120,0
1961-62	188,5	91,5	78,2
1962-63	278,8	130,1	63,5
1963-64	287,3	198,2	260,0
1964-65	133,6	181,9	121,0
1965-66	166,2	91,1	63,2
1966-67	194,0	153,8	114,5
1967-68	221,9	148,5	131,5
1968-69	81,9	105,3	92,2
1969-70	327,1	542,7	343,1
1970-71	242,6	111,7	133,9
1971-72	345,7	274,7	286,4
1972-73	211,5	200,6	196,0
1973-74	192,7	171,3	158,1
1974-75	287,5	296,9	346,8
1975-76	850,3	683,8	496,7
1976-77	150,7	158,6	123,9
1977-78	183,6	133,1	223,9
1978-79	269,5	464,6	365,6
1979-80	144,9	180,9	71,1
Moyenne	244,5	288,0	189,5
C.V. %	65	70	64
1980-81	-	163,9	100,1
1981-82	-	65,5	60,8
1982-83	-	23,6	217,8

Tableau 2.3. Pluviométrie annuelle dans la région d'El Bibane (mm)
(données INM)

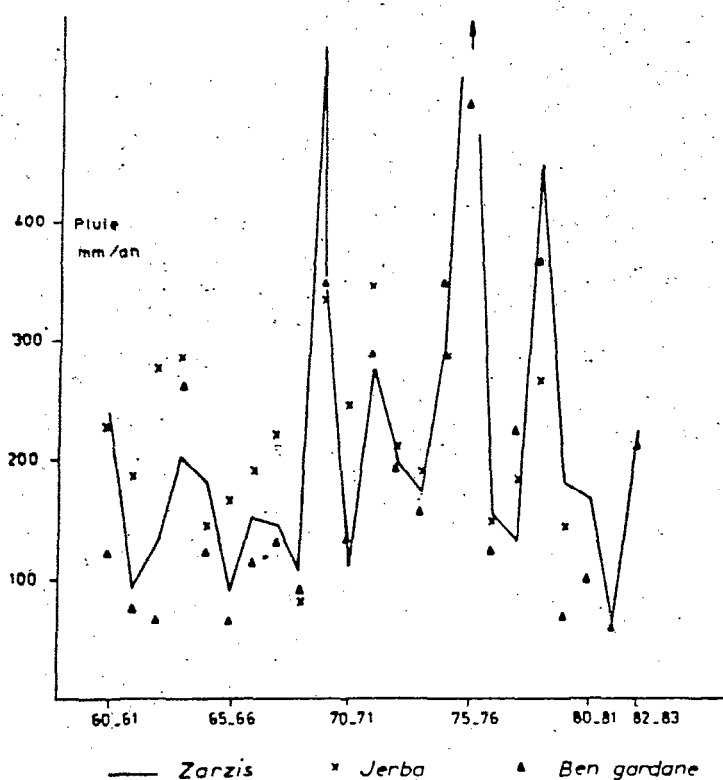


Figure 2.2. Précipitations annuelles à Jerba, Zarzis et Ben Gardane pour la période 1960 - 1983 (données INM).

Année mois	Z A R Z I S				B E N G A R D A N E			
	1980-81	1981-82	1982-83	1983-84	1980-81	1981-82	1982-83	1983-84
Septembre	51,6	1,2	0,0	6,4	0,0	0,0	27,5	4,7
Octobre	6,3	1,5	140,9	7,2	20,5	0,9	98,7	67,2
Novembre	11,5	0,0	34,6	8,3	57,7	0,0	23,3	3,4
Décembre	46,0	8,9	28,4	0,0	0,0	6,5	40,0	0,0
Janvier	1,0	17,6	2,0	-	5,7	1,4	6,0	-
Février	36,9	6,2	14,8	-	15,0	17,0	12,0	-
Mars	1,3	4,0	0,0	-	0,0	14,0	3,0	-
Avril	0,6	23,6	0,5	-	0,0	21,0	0,5	-
Mai	4,6	2,5	3,8	-	1,2	0,0	2,5	-
Juin	1,3	0,0	9,6	-	0,0	0,0	4,3	-
Juillet	0,0	0,0	0,0	-	0,0	0,0	0,0	-
Aout	2,8	0,0	0,0	-	0,0	0,0	0,0	-

Tableau 2.4. Pluies mensuelles à Zarzis et Ben Gardane (données INM).

Les coefficients de variation indiquent le caractère dominant de la pluviométrie en région méditerranéenne : la variabilité interannuelle. La moyenne pour Jerba est à comparer à celle de 209 mm pour la même station au cours de la période 1901-1960 (INM) et indique donc une époque récente relativement humide (mais non significativement différente).

Les différences entre les trois stations indiquent par ailleurs le caractère localisé des pluies, qui surviennent le plus souvent suivant une ligne de grains assez étroite. Ce caractère est encore plus évident lorsque les pluies mensuelles ou journalières sont étudiées.

Au cours de cette étude sur El Bibane, une année sèche (1981-82) et deux années proches de la normale (1980-81 et 1982-83) ont été observées (tableau 2.3.). Les données mensuelles de Zarzis (tableau 2.4.) seront utilisées pour évaluer le bilan hydrique de la lagune.

- Température et humidité de l'air

La température moyenne mensuelle de l'air à Zarzis est considérée dans cette étude, comme représentant celle d'El Bibane : c'est la station côtière la plus proche, et un examen sur 1981 montre que la différence moyenne avec Jerba est de 0,2° C ; nous pouvons donc considérer que la température moyenne dans la région côtière est relativement homogène.

Pour l'humidité, les deux stations de Jerba et Zarzis fournissent également des résultats voisins ; en 1981, les valeurs moyennes annuelles à 6, 12 et 18 heures sont respectivement, pour Jerba de 77, 59 et 68 % et pour Zarzis de 80,57 et 65 %. La tension moyenne de vapeur, basée sur des lectures trihoraires, est publiée par l'INM pour Jerba et non pour Zarzis. C'est donc la situation à Jerba qui a été retenue pour décrire l'évolution à El Bibane. Nous verrons plus loin que ces valeurs sont en accord avec les mesures occasionnelles d'El Bibane.

La variation de la température moyenne de l'air est représentée figure 2.3. et résumée pour la période d'étude dans le tableau 2.5. La tension de vapeur d'eau à Jerba est donnée tableau 2.6.

Les données des stations INM pour l'évaporation n'ont pas été retenues pour estimer l'évaporation sur la lagune, et ceci pour deux raisons : d'une part, il est reconnu que l'évaporation d'un plan d'eau libre est mal corrélée avec les données de l'évaporomètre Piche utilisé, et, d'autre part, les évaporomètres de Zarzis et Ben Gardane sont sensiblement protégés du vent par les constructions environnantes. Pour 1981, les valeurs annuelles d'évaporation Piche sont de 913 mm à Zarzis, 1316 mm à Jerba et 1104 mm à Ben Gardane.

2.2. Mesures à El Bibane

Des observations ont été faites à El Bibane pour compléter celles de l'INM (vent, rayonnement) ou pour confirmer la similitude entre la lagune et les stations voisines (humidité).

Figure 2.3. Température moyenne mensuelle de l'air à Zarzis (x) et évolution de la température de l'eau dans la passe (.) exprimée par la moyenne sur 5 jours successifs.

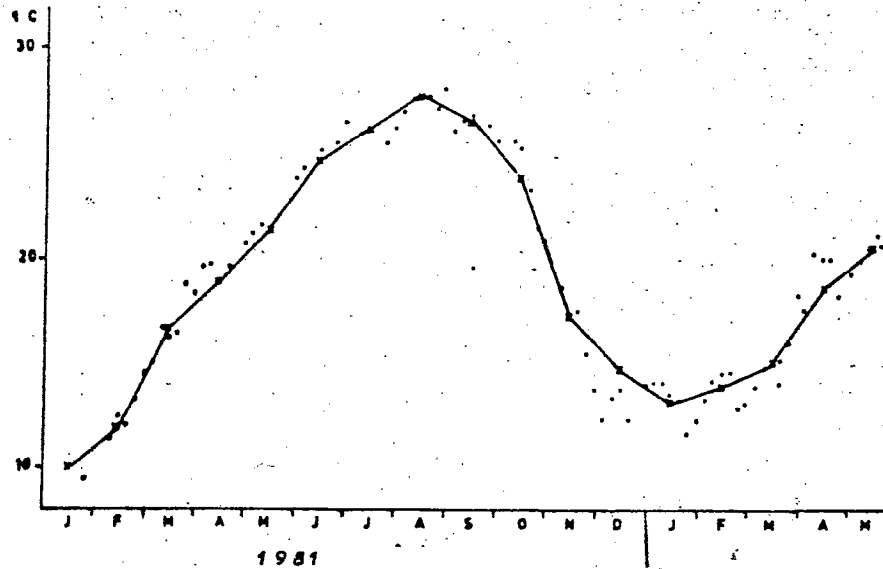


Tableau 2.5. Température moyenne mensuelle à Zarzis, °C. (données INM).

Année \ mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1981	9,9	11,9	16,7	18,9	21,4	24,7	26,2	27,7	26,5	23,9	17,3	14,7
1982	13,2	13,9	15,0	18,6	20,6	26,0	29,3	-	-	-	-	-
1983	-	12,5	-	17,6	20,6	25,0	26,7	28,6	25,7	22,4	-	-

Tableau 2.6. Tension de vapeur d'eau à Jerba ; moyennes mensuelles des observations trihoraires, mb (données INM).

Année \ mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1981	7,6	9,3	12,2	14,7	16,1	22,1	20,4	24,8	25,4	20,7	13,0	11,2
1982	10,9	11,0	10,9	14,2	17,2	20,3	24,0	26,0	27,3	22,0	15,1	10,6
1983	10,0	9,6	10,8	13,3	15,0	19,6	22,2	26,3	23,0	18,9	14,2	-

Tableau 2.7

Vent à El. Bibane - Année 1981 (km. d⁻¹)

	J	A	S	O	N	D
1		592	449	1374	506	450
2		580	449	418	277	311
3		580	449	352	248	594
4		334	449	315	230	941
5		312	562	327	295	550
6		262	509	400	282	550
7		245	484	333	435	210
8		251	316	333	435	390
9		619	339	333	334	452
10		342	388	333	436	259
11		489	358	333	726	256
12		562	388	345	453	432
13	413	533	510	299	326	249
14	377	534	417	414	528	500
15	314	355	531	319	528	711
16	336	355	345	365	240	364
17	410	310	356	571	336	296
18	569	426	415	395	280	534
19	741	371	554	301	213	517
20	392	490	632	339	215	517
21	267	389	713	295	264	569
22	493	597	420	283	264	600
23	471	445	269	437	215	427
24	504	-	428	508	348	327
25	615	-	528	548	351	180
26	509	-	510	569	834	227
27	391	400	434	499	822	227
28	383	656	461	288	642	257
29	327	724	378	384	651	270
30	476	225	394	327	782	257
31	547	272	z	389	z	352

Tableau 2.8 - Vent à El Bibane - Année 1982 (km. d⁻¹)

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
352	192	403	499	557	968	284	392	560	549	207	626
311	258	596	398	290	927	294	367	617	333	241	202
311	350	709	445	401	919	613	403	569	333	350	233
290	370	374	445	440	919	613	407	488	520	425	559
258	267	636	972	411	542	365	351	486	399	461	452
337	377	594	1165	732	399	282	465	237	379	282	246
357	324	594	1116	795	423	319	481	437	409	430	220
240	275	382	261	454	496	369	703	654	403	414	264
346	320	411	401	454	230	657	618	186	510	464	474
274	227	469	372	630	604	412	284	389	683	332	769
210	320	559	292	639	360	258	257	389	321	238	655
232	272	568	387	827	516	330	315	471	293	347	359
544	218	568	698	639	340	361	131	599	273	435	291
629	307	301	609	289	383	398	131	288	498	520	568
355	437	365	453	456	374	401	929	300	491	1006	471
355	509	300	706	682	429	351	263	270	367	1356	513
800	390	517	706	791	369	351	358	287	470	912	513
463	344	502	512	729	340	341	307	305	892	451	1017
790	511	1308	518	502	340	344	429	292	770	398	436
792	536	530	377	332	299	344	365	351	471	195	436
627	536	530	536	464	377	344	471	384	337	241	383
732	432	849	784	297	194	412	383	598	240	233	730
732	694	357	465	267	568	258	462	493	477	201	703
511	589	692	562	497	375	430	385	377	786	344	851
609	614	1084	737	521	549	385	484	377	511	427	590
773	1257	439	1128	612	549	423	616	377	746	977	751
633	907	439	652	575	549	360	484	377	1044	642	533
870	z	305	364	638	241	342	484	326	391	222	462
464	z	622	364	638	321	405	296	435	557	540	435
464	z	323	z	844	z	392	390	z	420	z	419

- Le vent à El Bibane

Un anémomètre totalisateur à coupelles W. LAMBRECHT a été fixé à l'extrémité d'une barre verticale de 1,5 m, elle-même placée sur le coin N.W. de la tour d'El Bibane, soit environ 8 m au-dessus de la mer. La précision de lecture est de 100 m, et les observations ont été faites chaque jour à 8 heures. Les résultats sont exprimés en vent passé par jour (km), du 13 juillet 1981 au 15 décembre 1983. La différence entre les lectures des jours J et (J + 1) constitue le vent du jour J. Les vitesses sont symbolisées par U.

Une analyse succincte du régime du vent peut être faite en considérant successivement les résultats suivant une maille de temps décroissante.

- Le vent annuel est fort :

du 31.07.81 au 31.07.82 $U = 462 \text{ km.d}^{-1}$ soit $5,35 \text{ m.s}^{-1}$

du 31.07.82 au 31.07.83 $U = 456 \text{ km.d}^{-1}$ soit $5,28 \text{ m.s}^{-1}$

Ces moyennes sont semblables au vent de Jerba, estimé à 421 km.d^{-1} à partir de 3 mesures instantanées journalières, et compte tenu de la différence d'altitude des capteurs (3 m à Jerba, 8 m à El Bibane).

- la distribution des fréquences journalières, évaluée ici pour 1982, présente un mode à 370 km.d^{-1} ($4,3 \text{ m.s}^{-1}$) inférieur à la moyenne (figure 2.4), avec 47 jours par an où le vent souffle à plus de 700 km.d^{-1} (8 m.s^{-1}). Ces vents forts influent notablement sur la circulation et la turbulence de l'eau.

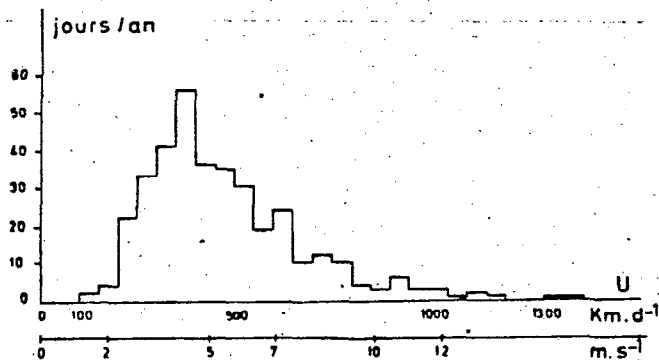


Figure 2.4 - Distribution des vitesses moyennes journalières du vent à El Bibane en 1982. Deux échelles de vitesses sont données : km/jour et m/s

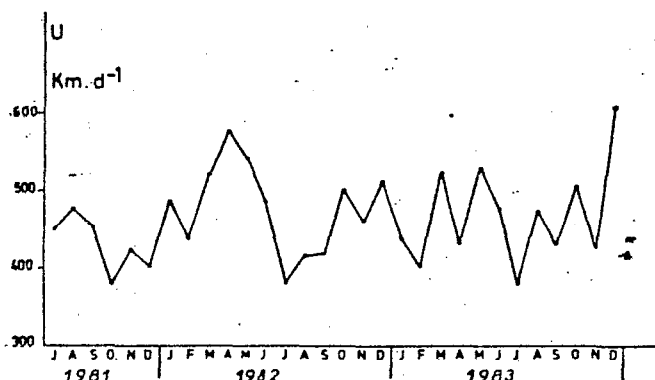


Figure 2.5 - Vent moyen mensuel (km.d^{-1}) à El Bibane au cours de la période d'étude. Il n'apparaît pas de variation saisonnière.

- la période d'étude est trop courte pour mettre en évidence les éventuelles variations saisonnières, qui sont peu marquées : le coefficient de variation des moyennes mensuelles pour 28 mois consécutifs est de 11,5 % (figure 2.5). Il apparaît cependant que les vents forts, choisis arbitrairement comme supérieurs ou égaux à $700 \text{ km} \cdot \text{d}^{-1}$, sont très rares en été : de 3 à 4 jours entre le 1er juillet et le 15 octobre, contre plus de 40 pour le reste de l'année.

- les valeurs journalières sont données dans les tableaux 2.7, 2.8 et 2.9 et présentées figure 3.5 avec le niveau de l'eau.

- des valeurs du vent au cours de la journée ont été notées en de nombreuses occasions. Ces données n'ont pas permis de mettre en évidence un cycle nyctéméral de la force ou de la direction, sauf en cas de vent moyen très faible où la brise de terre se fait sentir le matin, en été. Ces brises locales sont cependant l'exception, comparées aux vents dominants de secteur Ouest à Nord en hiver et Est à Nord-Est en été.

- le rayonnement à El Bibane

Des mesures ont été faites à El Bibane en 1982 - 83 à l'aide d'un capteur LICOR monté sur intégrateur dont les caractéristiques principales sont les suivantes :

. le rayonnement mesuré est de longueur d'onde comprise entre 400 et 700 nm ; c'est la fraction du spectre utilisable par les pigments chlorophylliens pour la photosynthèse (P.A.R.).

. le rayonnement évalué correspond au flux de photons reçus par mètre carré de surface horizontale. Il est exprimé en Einsteins par mètre carré (rappelons que $1 \text{ E} = 6,02 \times 10^{23}$ photons).

. en première approximation, pour le rayonnement naturel $1 \text{ E (PAR)} = 0,44 \cdot 10^6 \text{ J}$ (global)

Les résultats sont reportés tableau 2.10. Un jour clair d'été reçoit environ $60 \text{ E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$, et un jour d'hiver environ $25 \text{ E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ par beau temps. Les valeurs obtenues permettront, couplées avec les valeurs de transparence, de définir le climat lumineux dans la colonne d'eau et au fond de la lagune.

- l'humidité de l'air

L'humidité a été mesurée au moyen d'un thermomètre sec (ts) et d'un thermomètre "humide" (th) en ventilation naturelle. Les tensions de vapeur saturante sont évaluées par

$$e(t) = 6,1077 \exp \left(\frac{17,308 t}{237,905 + t} \right)$$

et, en estimant la pression atmosphérique peu différente de 1000 mb, l'humidité relative est donnée par

$$H \% = 100 \frac{e(\text{th}) - 0,79 (ts - \text{th})}{e(ts)}$$

Les humidités ainsi calculées pour diverses heures de la journée en 1982-83 sont reportées tableau 2.11. Elles sont peu différentes des humidités de l'INM à Zarzis et Jerba et justifient, comme nous l'avons déjà signalé, l'utilisation de cette dernière station comme représentative des tensions de vapeur d'eau à El Bibane.

Tableau 2.11

Mesures d'humidité à El Bibane

DATE	Heure	H %	Heure	H %	Heure	H %	Heure	H %
<u>1982</u>								
13.07	8	65	11	61	16	18		
14.07	16	62						
23.07	15	73	20	82				
25.08	6	79	13	69	20	73		
26.08	6	81	14	71	19	16		
27.08	6	81	12	69	17	79		
09.10	20	13						
10.10	6	73	12	62	18	09		
11.10	6	14	18	63				
12.10	6	60	12	54	20	59		
13.10	6	64	12	46	18	65		
14.10	6	51						
26.10	12	58						
27.10	10	75						
23.11	19	80						
24.11	8	91	19	81				
25.11	19	11						
27.11	8	64						
28.11	16	65						
29.11	18	77						
30.11	8	66	18	52				
<u>1983</u>								
22.02	8	77	18	73				
23.02	8	71	18	14				
24.02	12	76	18	77				
25.02	8	73						
27.02	8	89						
28.02	8	84						
01.03	8	83						
02.03	8	92						
03.03	8	66						
22.03	8	72	11	64				
23.03	8	84	20	87				
24.03	7	92	13	56	19	77		
24.05	6	38	13	53	20	54		
25.05	6	42	10	36	15	60	20	59
26.05	6	87						
04.07	6	77	15	68	20	13		
05.07	6	78	13	68	20	14		
06.07	6	71	14	64	20	73		
07.07	6	49	12	44	14	60	20	62
08.07	6	77		75	20	84		
09.07	6	74	14	73	20	78		
01.11	12	49	14	54	16	63	20	65
02.11	7	70	10	47	12	42		
03.11	7	70	15	57	18	60		
04.11	7	77	9	60	18	56		

3. LE NIVEAU DE L'EAU.

3.1 - Schéma général.

La lagune El Bibane est un bassin de surface $S : 230 \text{ km}^2$, relié à la mer par une passe étroite, de section A et de coefficient C_q , qui amortit les oscillations du niveau marin : la section efficace de la passe et la surface de la lagune déterminent les variations du niveau h_l dans la lagune en fonction du niveau h_m de la mer suivant la relation

$$S \frac{dh_l}{dt} = C_q A (2g |h_m - h_l|)^{1/2}$$

où g est l'accélération de la pesanteur.

Les caractéristiques C_q et A de la passe sont des fonctions du niveau qui ne sont pas accessibles directement. Nous avons donc disposé des enregistreurs de niveau dans la lagune, dans la passe et en mer, dans un double but :

- d'abord pour obtenir une description aussi complète que possible de l'évolution des niveaux,
- ensuite de fournir les éléments nécessaires à une modélisation simple (modèle d'ordre zéro) des échanges entre mer et lagune. Un tel modèle permet de déterminer à l'avance l'influence d'aménagements dans la passe.

3.2 - Le niveau en mer

Le niveau de la mer résulte de variations aperiodiques à moyen terme auxquelles se superposent les oscillations périodiques à court terme de la marée.

La marée à El Bibane est lunaire, semi-diurne, avec une composante solaire qui fait parfois apparaître des inégalités diurnes. La marée théorique à Zarzis peut être calculée à partir de celle de Gibraltar (Istituto Idrografico delle Marina, Italie (1982)) : le marnage est de l'ordre de 75 cm en vive-eau et de 15 cm en morte-eau. Ce marnage calculé est représenté figure 3.1 pour trois périodes de 1983 au cours desquelles le niveau réel de la mer a également été enregistré. On constate que l'amplitude théorique de la marée est très variable, non seulement au cours du cycle lunaire, mais aussi d'un cycle à l'autre, selon la phase de l'onde solaire par rapport à l'onde lunaire.

Une image de limnigrammes est donnée pour la période du 4 au 21 juillet 1983 au cours de laquelle le niveau moyen a peu varié (figure 3.2). Les variations d'amplitude en mer sont bien marquées en fonction des phases de la lune. On peut noter par ailleurs l'inégalité diurne particulièrement sensible dans cet exemple.

Les appareils étaient placés respectivement contre la jetée de Jedaria (A), dans la passe près de la pêcherie (B) et en mer à l'est du barrage de pêche (C), suffisamment loin de la passe pour que le niveau de la mer soit peu affecté par les courants (figure 3.3).

Figure 3.1 - Marnage théorique de la marée à Zarzis au cours de trois périodes de 1983.

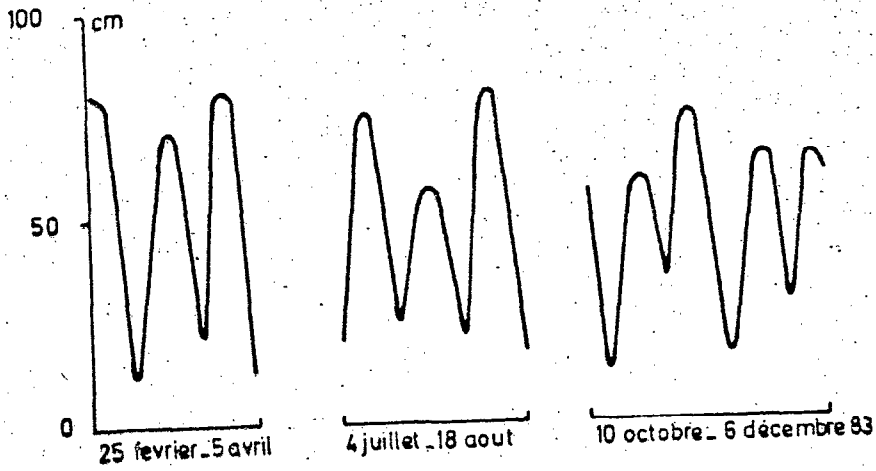
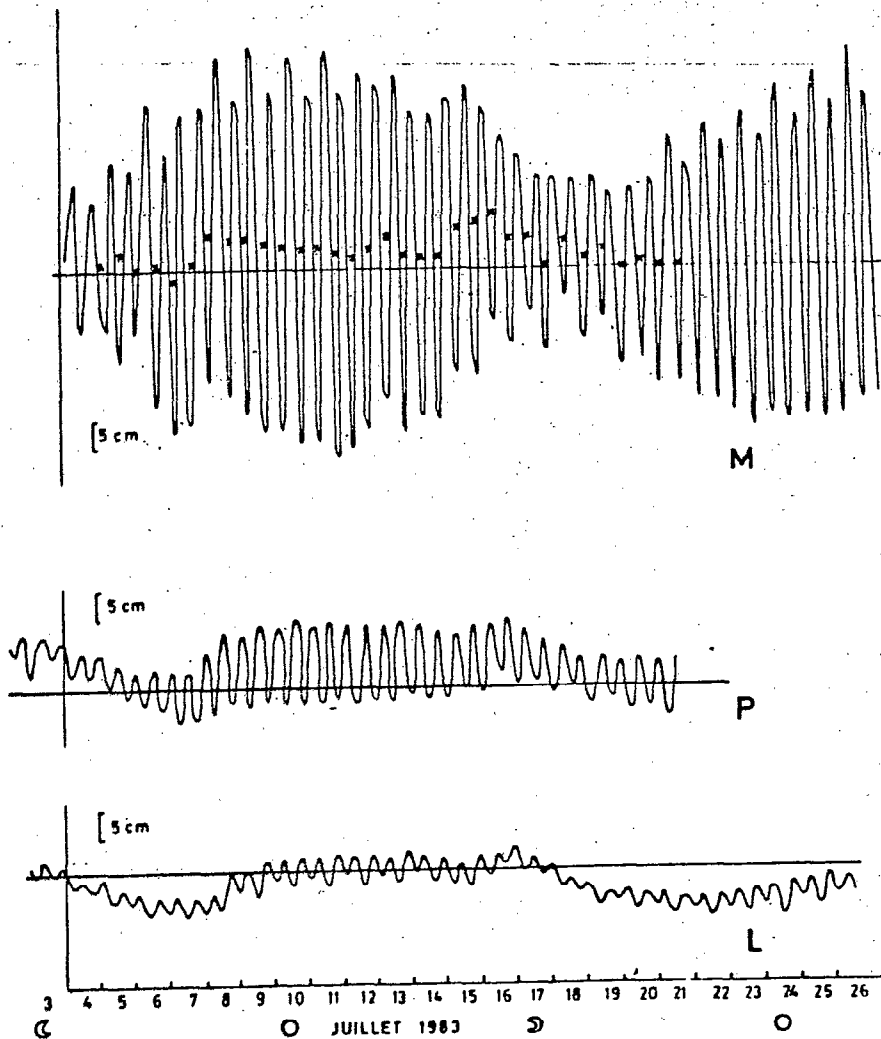


Figure 3.2 - Linnigrammes de la lagune à Jedaria (L), de la passe sur l'île d'El Bibane et en mer (M) pour la période du 4 au 21 juillet 1983.



Le limnigraphe de mer (C) a fonctionné au cours de trois périodes de 1983 :

- 25 février - 9 avril
- 4 juillet - 18 août
- 12 octobre - 1er décembre

Pour chacune de ces périodes, les marées hautes successives ont été numérotées de 1 à n. H1 et H2 représentent la baisse puis la remontée du niveau en mer (en cm) entre les étales n et n+1 ; h1 et h2 représentent les mêmes dénivellations en lagune et m le niveau moyen en lagune.

Pour chaque période de mesure, le marnage en mer, calculé par $(H1 + H2) / 2$ pour chaque n, est représenté figure 3.4. Les plus forts marnages sont de 80 cm et les plus faibles de l'ordre de 10 cm ; ils correspondent donc assez bien aux marnages calculés (75 et 15 cm). On observe de même que les inégalités observées entre cycles lunaires sont comparables à celles qui étaient calculées (figure 3.1.).

La moyenne entre une marée haute et la basse mer suivante constitue le niveau moyen de la mer pour la période correspondante.

Les observations concernant le niveau marin à El Bibane portent sur des périodes trop courtes pour fournir des informations sur les variations du niveau moyen de la mer au cours de l'année. Mais elles permettent de constater que ce niveau est néanmoins bien représenté par les enregistrements effectués dans la passe (B) et à Jedaria (A). L'exemple de la période du 25 février au 9 avril 1983 correspond à la plus forte variation du niveau moyen observée au cours de l'étude (figure 3.5). Nous observons sur cette figure que, pour le niveau moyen :

- les variations du niveau moyen dans la passe et à Jedaria sont très sensiblement synchrones et de même amplitude,

- la lagune reproduit les oscillations du niveau marin avec un léger amortissement de l'amplitude et un retard qui devient important lorsque les variations sont brutales. Le retard peut atteindre 24 heures, mais la différence d'amplitude ne dépasse pas 10 cm.

En ce qui concerne la connaissance du niveau marin, les limnigraphes de la passe d'El Bibane ou de Jedaria fournissent donc une bonne approximation des variations aperiodiques du niveau en mer.

3.3 - Le niveau en lagune

Le niveau en lagune a été enregistré

- de mai 1981 à décembre 1983 dans la passe et à Jedaria,
- de juin 1981 à mars 1982 à El Marsa, avec quelques interruptions.

Les deux limnigraphes de Jedaria et El Marsa indiquent des variations identiques du niveau moyen. Il n'y a donc généralement pas d'inclinaison ni de balancement sensible du plan d'eau sous l'effet du vent suivant un axe Nord-Sud.

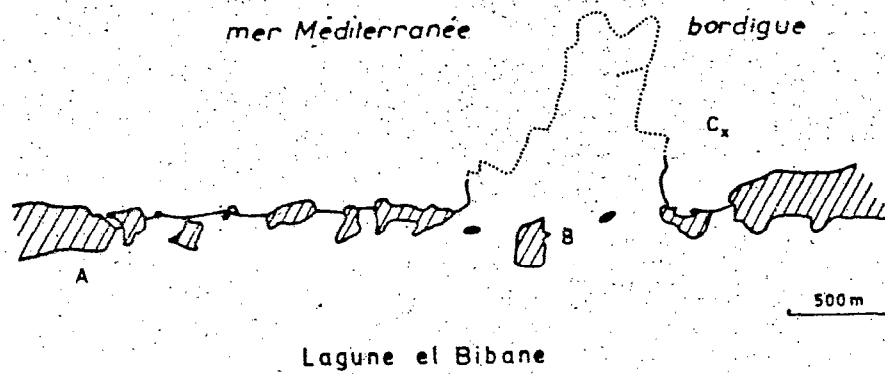


Figure 3.3 - Situation des trois limnigraphes installés à El Bibane : à Jedaria (A), dans la passe (B) et en mer (C).

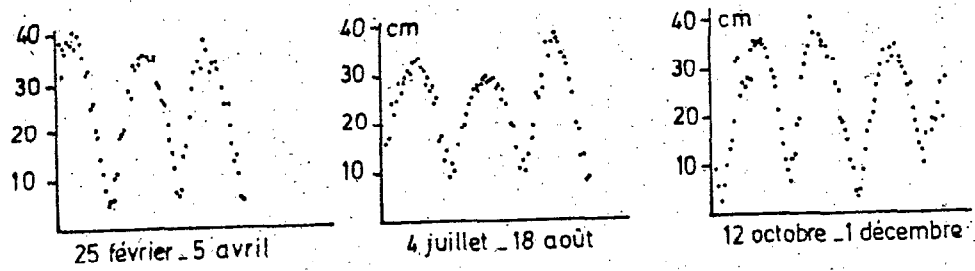


Figure 3.4 - Marnage en mer devant El Bibane pour chacune des trois périodes de mesures en 1983

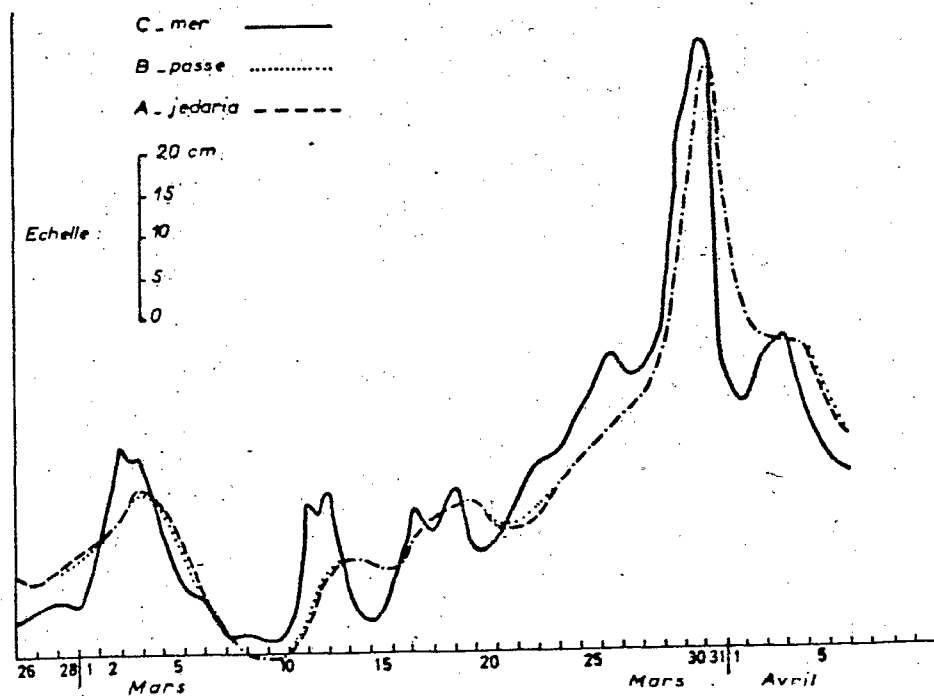


Figure 3.5 - Niveau moyen en mer (C), dans la passe (B) et à Jedaria (A) au cours d'une période de très fortes variations (25 février - 9 avril 1983). Les niveaux moyens à Jedaria et dans la passe sont le plus souvent identiques.

Le marnage observé est légèrement supérieur à El Marsa (de 0,8 cm sur 4 demi-cycles de marée), mais il est difficile d'estimer si cette différence est réelle ou due au fait que le limnigraphe d'El Marsa était plus exposé aux vagues et soumis à un batillage nettement plus prononcé que celui de Jedaria. Par ailleurs, le limnigraphe d'El Marsa, également plus exposé à la curiosité et aux déprédations des passants, n'a pu être maintenu suffisamment longtemps pour confirmer la différence. Nous estimons donc que l'amplitude de la marée et le niveau moyen de la lagune sont indiqués par le limnigraphe de Jedaria.

Les zéros des échelles de Jedaria et de la passe sont situés approximativement à - 50 cm du niveau moyen annuel, et ne sont pas calés l'un par rapport à l'autre.

Dans la lagune, les niveaux moyens extrêmes observés sont à 20 et 100 cm des échelles, soit à - 30 cm et + 50 cm du niveau moyen annuel. Le plus souvent, le niveau est toutefois compris entre ± 20 cm de la moyenne.

Les dénivellations peuvent être importantes et brutales, avec une fréquence mensuelle pour des variations supérieures à 10 cm d⁻¹ (figure 3.6).

Comme cela a été observé pour le vent, les fortes variations du niveau moyen sont le plus souvent observées en hiver et au printemps ; elles sont plus rares en été.

Le marnage moyen à Jedaria, a_2 , a été calculé pour des périodes de un demi-cycle lunaire : on a mesuré 28 ou 29 marées montantes successives, le total étant corrigé de la différence entre le niveau final et le niveau initial de la période (tableau 3.1).

Pour 24 demi-cycles (soit 684 marées montantes)

$$a_2 = 3,26 \text{ cm} \quad \sigma = 0,54$$

Il apparaît en outre que a_2 dépend du niveau moyen H au cours du cycle considéré (figure 3.7), la relation s'exprimant par

$$a_2 = 0,069 H - 0,046$$

$$n = 24 \quad R = 0,80$$

Une fraction de la variance de a_2 est par ailleurs due à celle du marnage a_1 en mer (figure 3.8). Pour H peu variable, environ 60 % de la variance de a_2 est expliquée par celle de a_1 ; l'introduction de H_2 dans une régression pas à pas à deux variables n'apporte que peu d'amélioration :

-Période 4 juillet - 18 août 1983

$$a_2 = 1,128 + 0,050 a_1 \quad R^2 = 0,615$$

$$a_2 = 0,398 + 0,048 a_1 + 0,042 H \quad R^2 = 0,623$$

-Période 12 octobre - 1er décembre 1983

$$a_2 = 1,56 + 0,055 a_1 \quad R^2 = 0,550$$

$$a_2 = 1,608 + 0,037 a_1 + 0,072 H \quad R^2 = 0,704$$

Figure 3.6 - Niveau moyen et vent quotidien à El Bibane.

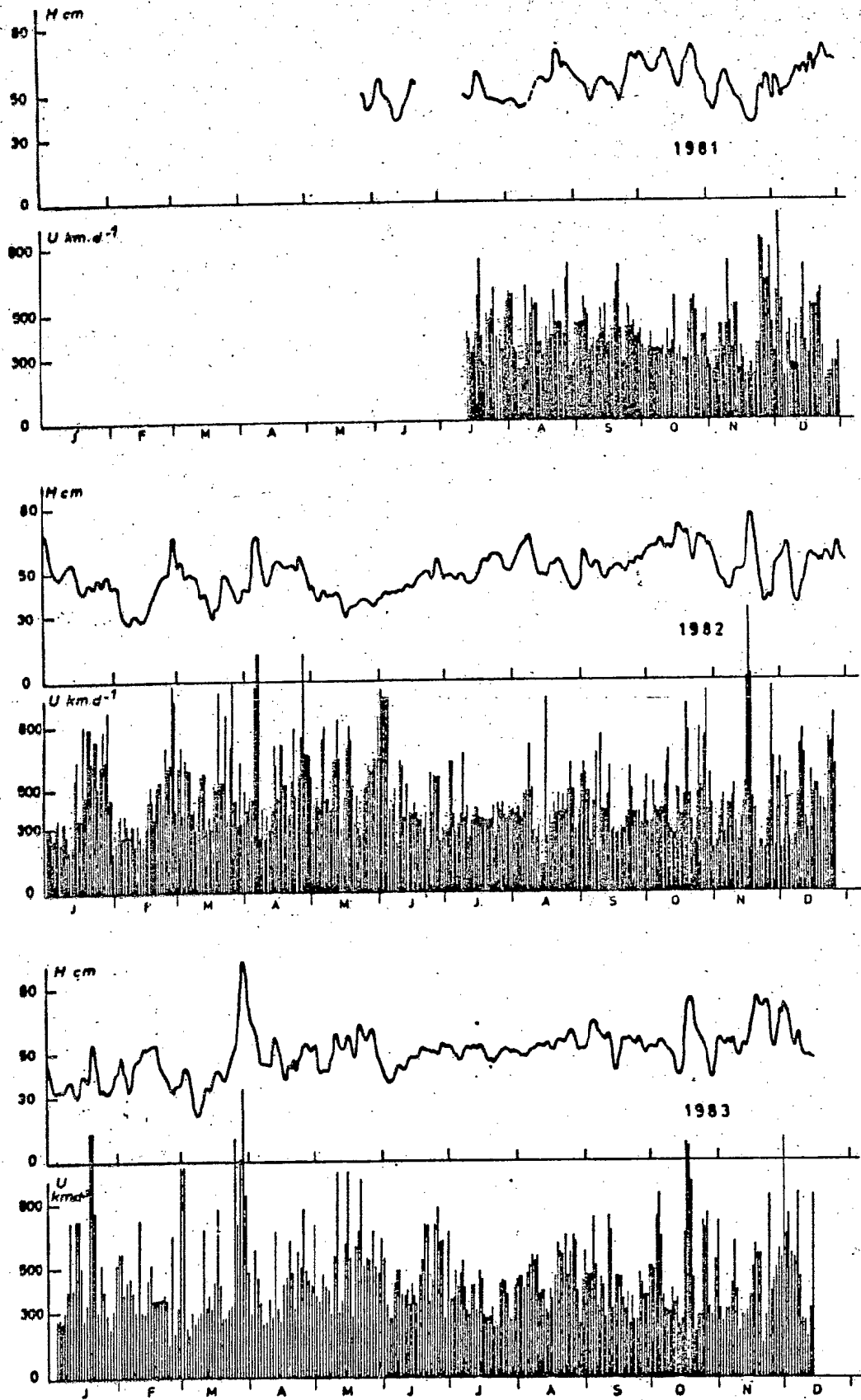


Tableau 3.1 Amplitude moyenne a_2 de la marée à Jedaria, calculée pour les demi-cycles lunaires (cm)

D A T E	a_2	H moyen
15.09 au 28.09.81	1,59	50
11.11 au 26.11.81	1,49	42
11.12 au 26.12.81	1,99	56
16.01 au 01.02.82	1,51	41
23.02 au 08.03.82	1,64	50
25.03 au 07.04.82	1,20	41
23.04 au 07.05.82	1,43	44
23.05 au 06.06.82	1,06	35
21.06 au 20.07.82	1,39	45
04.08 au 19.08.82	1,68	53
03.09 au 17.09.82	1,63	49
25.09 au 09.10.82	1,86	55
17.10 au 01.11.82	2,17	62
15.11 au 01.12.82	1,43	49
16.12 au 31.12.82	1,46	54
31.12 au 14.01.83	4,17	36
27.04 au 12.05.83	1,58	45
26.05 au 11.06.83	1,81	44
04.07 au 18.07.83	1,82	48
19.07 au 02.08.83	1,72	46
03.08 au 17.08.83	1,99	50
23.08 au 07.09.83	1,82	54
14.09 au 29.09.83	1,82	50
29.09 au 13.10.83	1,83	50

Figure 3.7
Amplitude de la marée à Jedaria
(moyenne sur un demi-cycle lunaire)
en fonction du niveau moyen

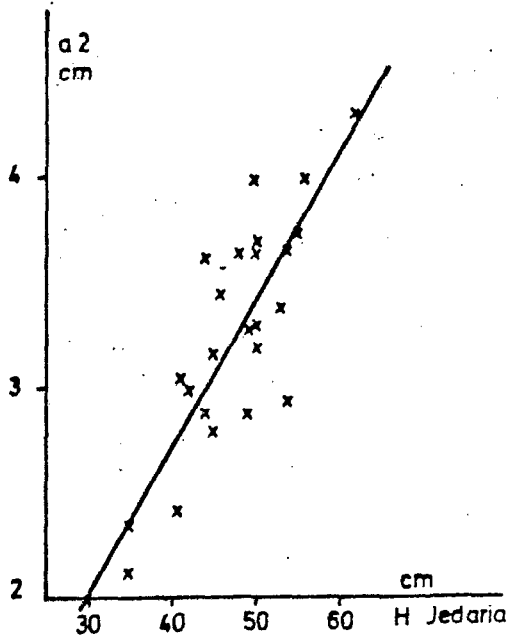
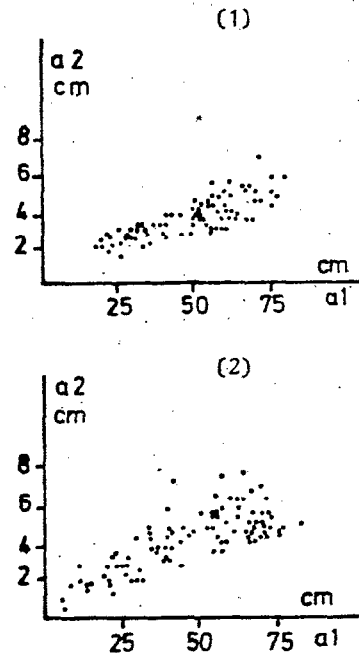


Figure 3.8
Marnage en lagune (a_1) en fonction du
marnage en mer (a_2) en juillet - août (1)
et octobre - décembre 1983 (2)



Par contre, quand le niveau moyen de la mer varie fortement, cette deuxième variable devient prépondérante :

Période 25 février - 5 avril 1983

$$a_2 = 1,524 + 0,112 H \quad R^2 = 0,676$$

$$a^2 = 3,486 + 0,114H + 0,034 a_2 \quad R^2 = 0,775$$

avec a_1 et a_2 exprimés en cm, et H en cm à l'échelle de Jedaria (les régressions multivariées ont été calculées par M. S. BAETEN, laboratoire de biométrie de l'INAT).

3.4 - L'évolution à très long terme

Le niveau de la mer, relativement aux côtes tunisiennes, est estimé avoir monté de 50 cm depuis le 3ème siècle (R. PASKOFF, comm. pers.). Dans la lagune El Bibane, considérée de plus comme zone de subsidence, l'élévation du niveau de l'eau est attestée par les ruines romaines, notamment à Epchir El Medina, à l'extrémité Est de la lagune : le quai en pierre taillée, encore rectiligne et horizontal, de plus de 100 m de long, est maintenant juste au niveau moyen de l'eau et émerge à peine du sable.

Une variation relative de l'ordre de 0,3 à 0,5 mm par an peut sembler faible. Elle permet cependant de situer la lagune dans un contexte évolutif important en ce qui concerne l'érosion des berges et la redistribution des sédiments : accumulation de sable dans la région d'Ouden Bouri, évolution du profil de la plage le long de la côte Sud, érosion des faces internes et externes des slobes, extension des deltas de part et d'autre de la passe principale, échanges avec la sebkha BouJmel. A noter également que pour un niveau inférieur de 50 cm au niveau actuel, toutes les passes secondaires entre les flots seraient émergées.

4 - La transparence de l'eau

La transparence de l'eau a été évaluée de deux façons :

- à l'aide d'un disque de Secchi (DS),
- par le coefficient d'atténuation verticale K (m^{-1} , base e) moyen sur le spectre 400 - 700 nm.

Le tableau 4.1 résume les occasions où K et DS ont pu être mesurés simultanément, par temps clair et suffisamment calme pour obtenir des valeurs stables de l'éclairement aux différentes profondeurs. La relation expérimentale entre K et DS est représentée figure 4.1. La valeur moyenne du produit K (DS) est

$$K(DS) = 1,62 \quad \sigma = 0,17 \text{ pour 23 couples de valeurs}$$

Cette relation implique que l'éclairement à la profondeur DS est :

$$E_{DS} = 0,2 E'_0 \quad \text{où } E'_0 \text{ est l'éclairement subsuperficiel,}$$

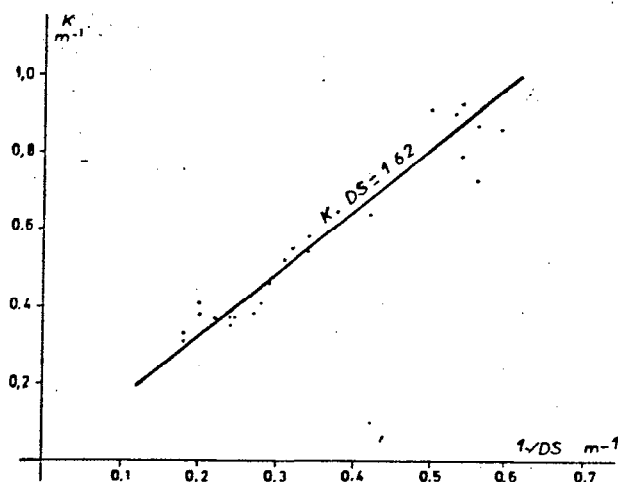
et la zone euphotique (1 % de E'_0) vaut approximativement

$$Z_{eu} = 2,84 (DS)$$

Tableau 4.1 Relation K - DS à El Bibane

Date	Station	DS	K	K . DS
09.12.81	140	2,0	0,91	1,82
	141	1,7	0,86	1,46
	142	1,9	0,90	1,70
	143	2,4	0,64	1,54
	144	1,85	0,79	1,47
	145	1,8	0,73	1,31
	146	1,8	0,87	1,56
18.02.82	200	>3,4	0,39	-
	201	5,0	0,41	2,05
	202	>5,2	0,36	-
	203	>4,0	0,36	-
	206	5,0	0,38	1,90
	215	>5,0	0,31	-
	219	>3,0	0,32	-
	220	4,5	0,37	1,67
	221	3,4	0,46	1,56
	222	5,5	0,31	1,71
17.03.82	251	3,6	0,41	1,48
	252	4,2	0,35	1,47
	254	4,2	0,37	1,55
25.05.83	636	3,1	0,55	1,71
	630	2,9	0,58	1,68
	629	3,2	0,52	1,66
	631	2,9	0,54	1,57
06.07.83	-	4,2	0,38	1,60
07.07.83	-	5,5	0,33	1,82
-	-	4,2	0,37	1,55
-	-	3,7	0,38	1,41

Figure 4.1 Caractéristiques optiques de l'eau à El Bibane : relation entre coefficient d'atténuation verticale K (m^{-1}) et transparence au disque de Secchi (DS, m).



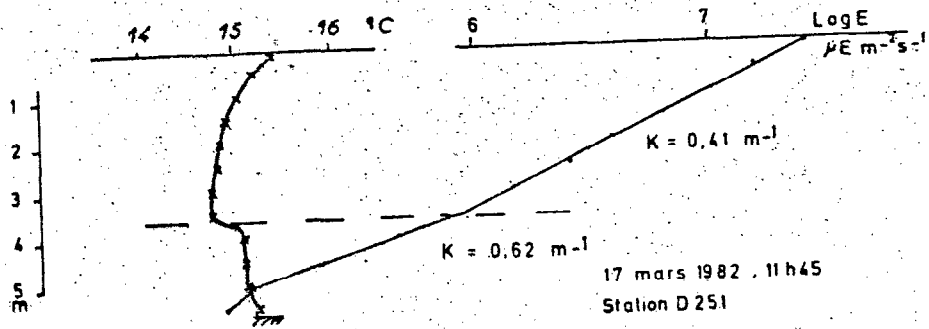


Figure 4.2 Profil de température (X) et d'éclairement (Log E, $\mu E m^{-2} s^{-1}$) à la station D 251 du 17 mars 1982

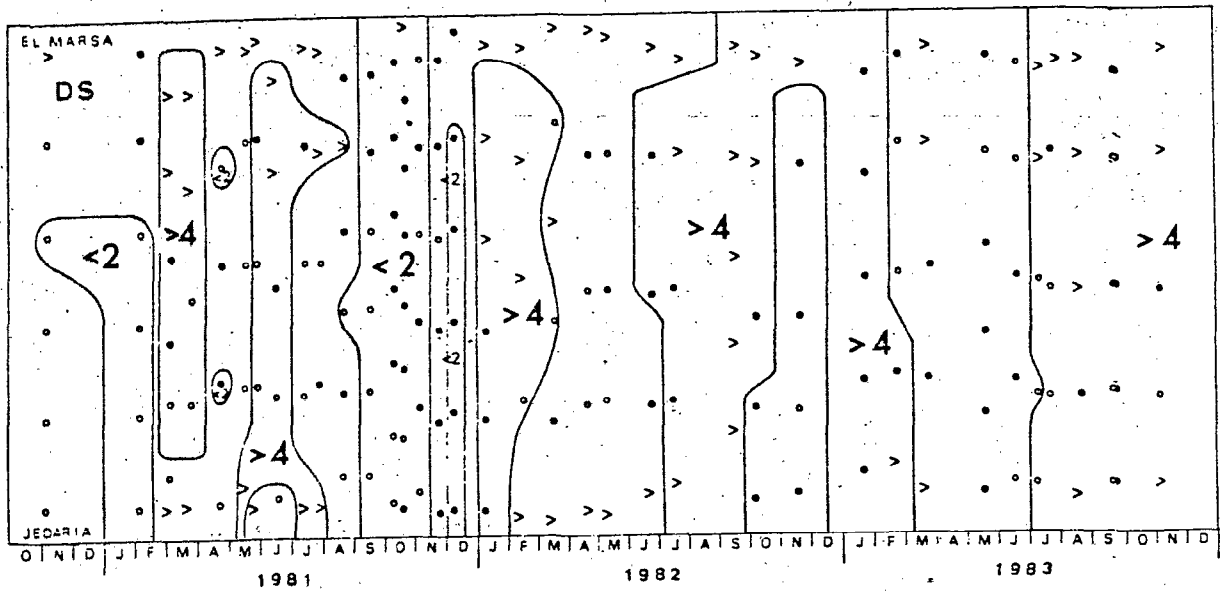


Figure 4.3 Diagramme espace-temps sur la radiale Jedaria-El Marsa de la transparence mesurée au disque de Secchi. Les signes > indiquent que le disque reste visible au fond. Chaque point représente une mesure. Trois plages de transparence sont individualisées : inférieure à 2 m, entre 2 et 4 m et supérieure à 4 m.

Figure 4.4 Répartition des transparences au disque de Secchi dans la lagune El Bibane (exprimées en dm) : 1981

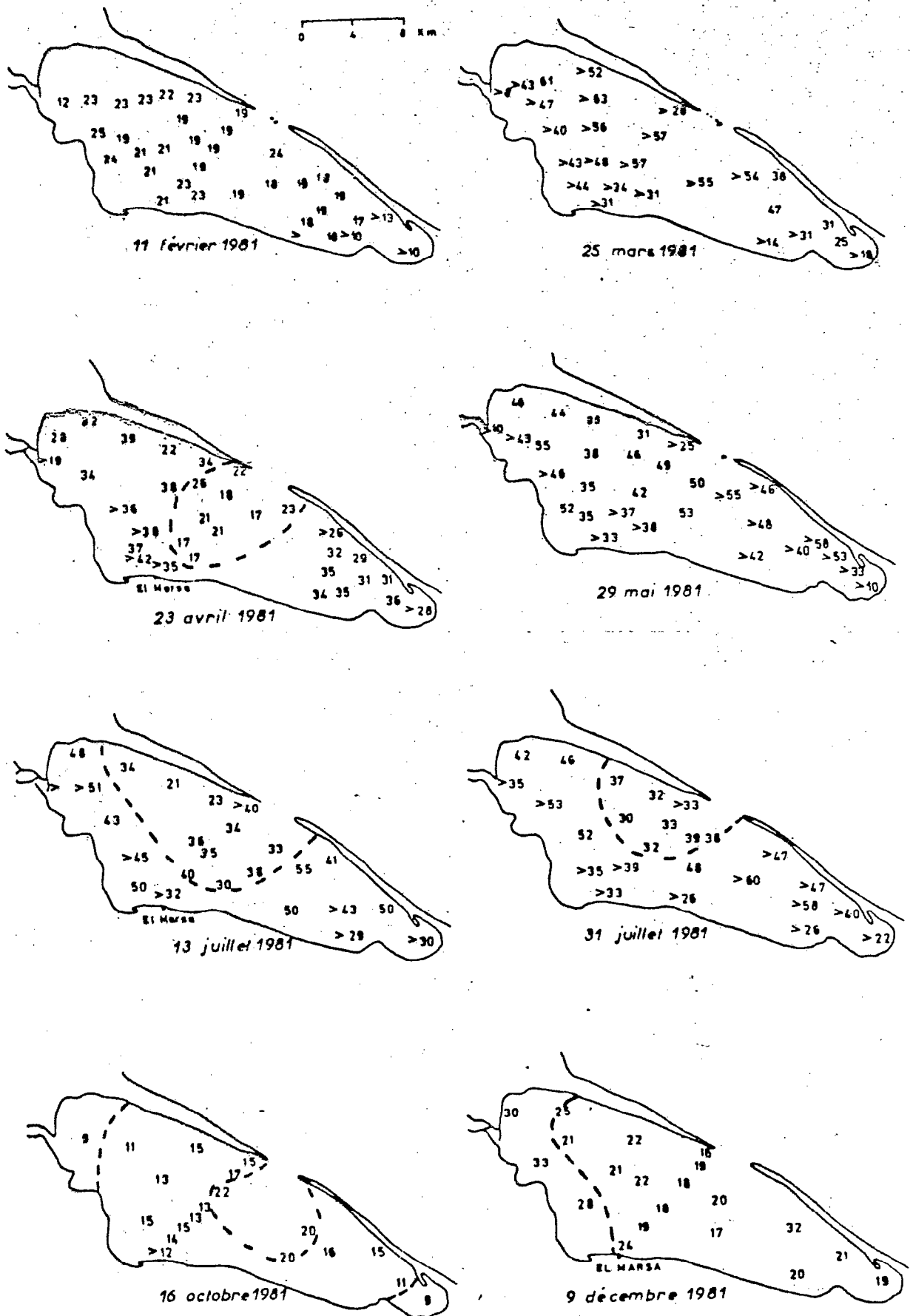
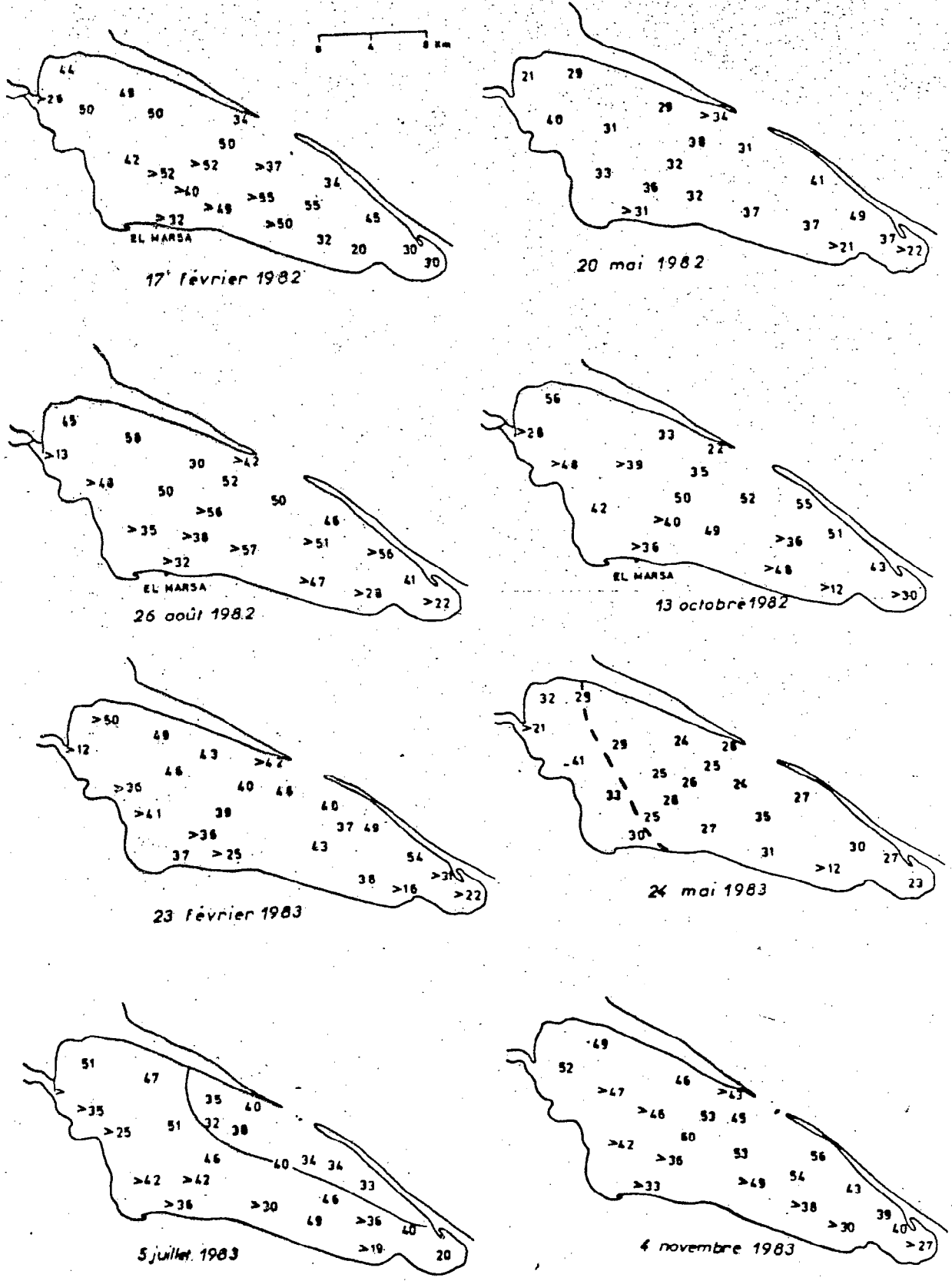


Figure 4.5. Répartition des transparences au disque de Secchi dans la lagune El Bibane (exprimées en dm) : 1982 et 1983



En général, K est constant sur toute la colonne d'eau ; mais lors de stratification prononcée, un changement de la valeur de l'atténuation peut se produire à la thermocline. Ce cas est représenté figure 4.2 pour la station D 251 du 17 mars 1982.

Les variations dans le temps et dans l'espace de la transparence DS ont été évaluées sur la radiale Jedaria El Marsa (figure 4.3) et sur l'ensemble de la lagune.

Sur la radiale, où les mesures ont été plus fréquentes, des transparences inférieures à 2 m n'ont été observées qu'en 1981, notamment lors de la poussée de phytoplancton d'automne. En 1982 et 1983, DS est rarement inférieur à 3 m, et le plus souvent supérieur à 4 m (figure 4.3).

La répartition des transparences dans toute la lagune est donnée figures 4.4 et 4.5 pour la période février 1981-novembre 1983, avec les valeurs de DS exprimées en dm. En 1981, pour des transparences généralement faibles, une zonation grossière peut être décelée :

- les plus faibles transparences sont dans la région proche de la passe en avril, juillet et décembre,
- l'influence du phytoplancton dans les régions distales se fait sentir en octobre.

En 1982-83, l'eau est généralement plus claire, et la mesure de DS souvent limitée par la profondeur. Aucune répartition zonale n'apparaît alors clairement.

La transparence dans la lagune peut être limitée par le phytoplancton, la matière organique dissoute ou les particules minérales. Les plus fortes concentrations de phytoplancton, de l'ordre de 10 mg.m^{-3} Chla, ne peuvent expliquer à elles seules des valeurs de DS < 3 m. Une coloration de l'eau par la matière organique dissoute a été observée en automne 1981, en même temps que la poussée du phytoplancton ; elle peut avoir contribué, en même temps que celui-ci, à une limitation de la transparence. La présence de matière organique dissoute correspond alors à la décomposition des feuilles de cymodocées.

En d'autres périodes, des particules fines, à couleur dominante gris clair, donnent à l'eau un aspect trouble. C'est notamment le cas dans la passe, aussi bien par courant entrant que sortant, lorsque l'eau a été agitée par des coups de vent. Expérimentalement, une telle coloration de l'eau peut être obtenue par broyage du calcaire oolithique des slobes, ou par agitation des sédiments meubles du cône d'alluvions situé dans la lagune autour de la passe. Ces sédiments fins, en provenance du rivage ou des zones peu profondes marines ou lagunaires, contribuent à limiter la transparence.

5 - TEMPÉRATURE DE L'EAU ET STRUCTURE THERMIQUE

5.1 - Température dans la passe

Méthode

La température de l'eau dans la passe entre lagune et mer a été relevée en surface vers 8 h le matin. Ces mesures sont quotidiennes, sauf à certaines périodes de 1981 où des données

manquent pour mai, juin et juillet. Elles ont été regroupées par périodes de 5 jours (6 en fin des mois de 31 jours), un point signalant dans le tableau les séries incomplètes de 2 ou 3 jours. Par rapport à un traitement quotidien, un tel regroupement facilite la lecture des tableaux et des figures, tout en maintenant une définition suffisante des variations à court terme.

Les lectures étaient faites au 1/2 ou 1/10^{ème} de degré, suivant les thermomètres utilisés qui ont tous été vérifiés préalablement par comparaison avec un thermomètre étalonné de la Météorologie Nationale française.

Résultats

Les observations pour la période 1981-83 sont regroupées dans le tableau 5.1 et la figure 5.1.

La caractéristique principale de la température dans la passe (figure 5.1) est une amplitude intra-annuelle forte, de l'ordre de 18 à 21 K, et une température en constante évolution : échauffement mensuel de 2,6 K de janvier à août, refroidissement de 3,5 K par mois en septembre, octobre, novembre.

La variabilité interannuelle, typique du climat méditerranéen, se manifeste dans les maximums (de 28 à 30° C) et, surtout, dans les minimums annuels (7 à 12° C).

Comme pour la plupart des plans d'eau peu profonds, la température de l'eau est très proche de la température moyenne de l'air (figure 2.3).

Les températures de surface de la mer au large, communiquées par la SEREPT, peuvent également être comparées à celles de la passe. Elles concernent les observations journalières à la plate-forme Ashart (34° 18' N, 11° 25' E), située face au golfe de Gabès et 110 km au Nord d'El Bibane. Les extrêmes saisonniers sont moins prononcés en mer, aussi bien en été qu'en hiver (figure 5.2), d'où une inversion de la différence des températures en mars et fin septembre 1982.

Il est possible que la température soit l'un des facteurs qui interviennent dans la migration des sparidés. Une attention particulière doit donc être apportée aux variations de température entre le 15 octobre et le 1er décembre (figure 5.1 où les tirets obliques indiquent les 4 dates du tableau 5.2) : les variations interannuelles, pour les trois années étudiées, sont surtout sensibles vers le 15 novembre.

Date	1981	1982	1983	Écart (K)
15 octobre	25,3	23,8	23,3	2,0
1 novembre	21,0	19,6	20,2	1,4
15 novembre	17,5	16,3	19,7	3,4
1 décembre	13,9	14	14,4	0,5

Tableau 5.2 - Températures dans la passe en automne (° C)
écart maximal pour une date donnée

Tableau 5.1 - Température de l'eau dans la passe à El Bibane
Moyenne sur 5 jours. Le signe ° indique une moyenne calculée sur 2 à 4 jours.

1981

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1-5			14,5	17,7	20,7	23,9	26,6°	26,3	28,2	25,7	21,1	13,9°
6-10			15,0	19,7	21,3	24,4°	-	27,0	26,0	-	-	12,4°
11-15	7,0°	11,4	16,8	19,8	21,6	-	26,0	27,6	26,7	25,6	18,8	13,5
16-20	6,6°	12,5	16,3	19,2	-	25,2°	-	27,5°	26,9	25,3	17,5	13,9
21-25		12,0	16,5	19,6	-	-	-	27,8	26,4	23,5	17,6°	12,3
26-	9,4°	13,3°	18,9	20,0	-	25,5°	25,5	27,1	26,4	21,6	15,5	14,4

1982

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1-5	14,0	12,3	13,1	18,4	19,3°	21,8°	27,5	29,4	28,8	27,4	18,9	13,8
6-10	14,1	13,3	13,9	17,5	20,0	23,1	27,0	28,8	28,2	25,7	19,1	14,1
11-15	14,1	14,7	14,8	20,3	20,7	23,5	26,6	28,0	28,5	24,1	18,1	13,3
16-20	13,6	14,5	14,8	20,0	21,2	26,0	28,5	30,0	27,6	23,9	15,4	12,1°
21-25	13,3	14,6	14,0	20,0	21,5	26,8	28,7°	29,8	28,0	23,4	15,7	10,6
26 -	11,6	12,8°	16,0	18,2	22,8	25,8	28,3	29,4	28,0°	20,4	14,6	10,0

1983

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1-5	10,5°	11,4	14,3°	16,0	20,2	22,1	25,6	29,5	28,0	21,8	19,9	14,4
6-10	11,2	11,7	14,3	16,6	20,7	23,6	26,6	28,9	26,3	24,3	19,7	12,3
11-15	12,0	12,2	15,0	18,1	20,5	-	27,4	28,8	27,1	24,1	20,0	12,1
16-20	12,0	13,1°	13,8°	18,4°	21,4°	-	27,6	28,4	25,5°	3,3	19,7	-
21-25	10,9°	13,0	17,1°	18,2	21,2	25,0	28,3	28,1	25,3	-	19,2	-
26-	11,1	14,4°	15,8	19,8	21,4°	24,8	29,3	28,2	25,0	-	18,0	-

Figure 5.1 - Température de l'eau de surface dans la passe le matin.
Chaque point représente la moyenne sur 5 jours consécutifs.

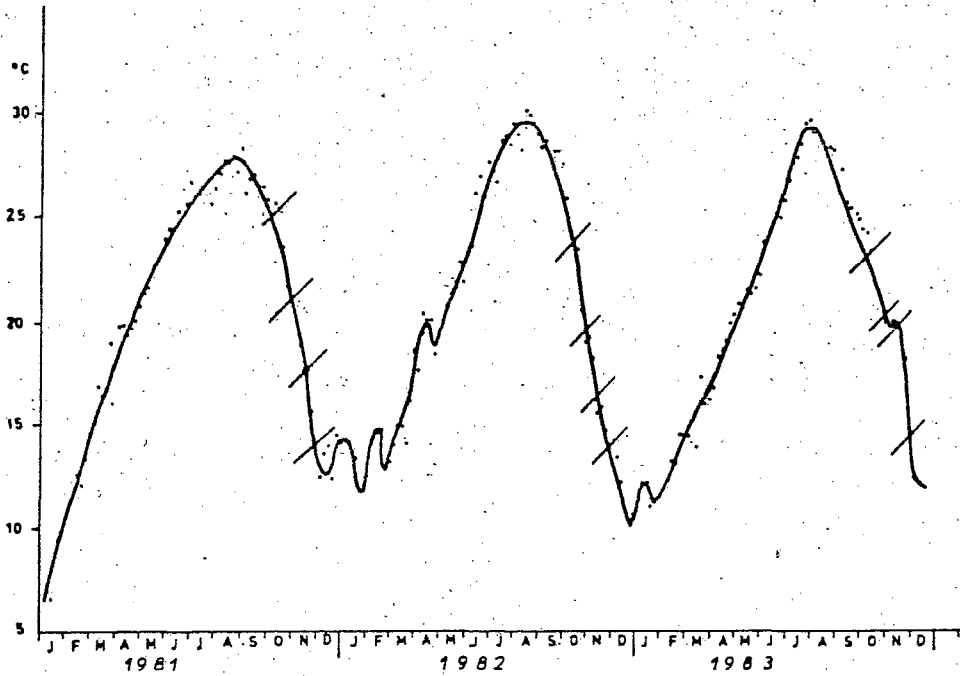
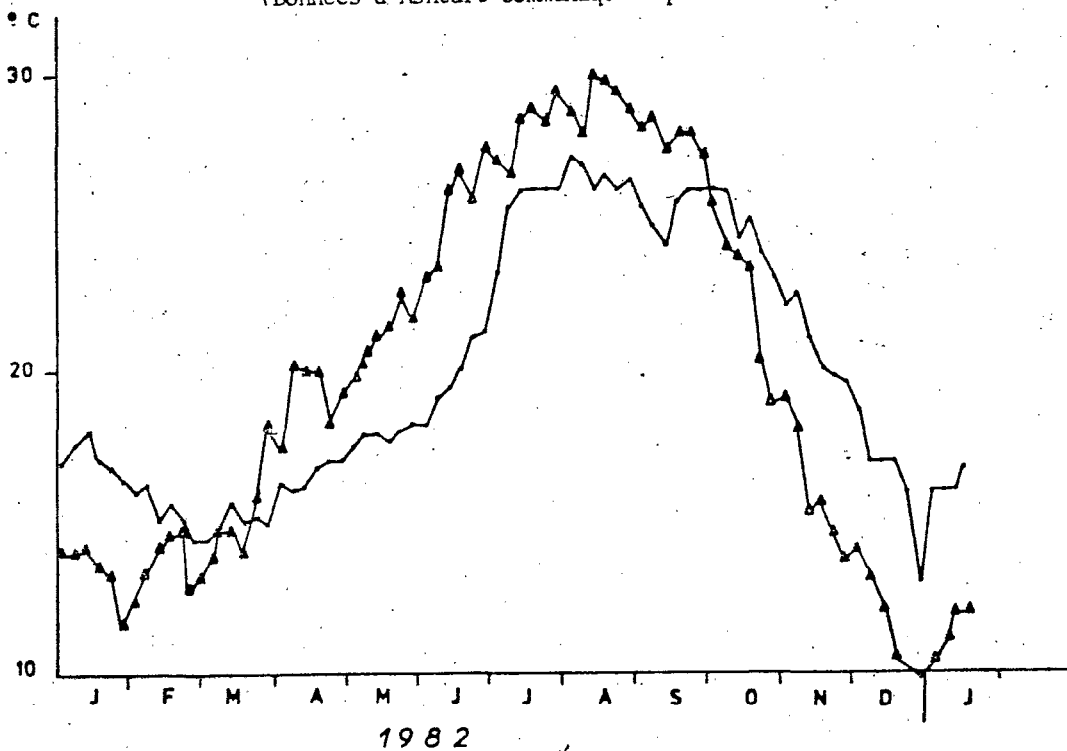


Figure 5.2 - Températures de surface de la mer à Ashtart (.) et de la passe d'El Bibane (Δ) au cours de l'année 1982.
(Données d'Ashtart communiquées par la SEREPT).



5.2 - Structure thermique face à la passe

Les échanges d'eau entre lagune et mer sont complexes, et créent des variations sensibles de la structure de la colonne d'eau dans la zone d'influence directe de la marée à l'intérieur de la lagune.

Des éléments sur ces variations ont été obtenus par la mesure de profils de température au point D de la figure 5.3, matérialisé sur le terrain par une palme qui fixe la limite de la zone de pêche réservée à l'ONP et représente, pour les pêcheurs, l'extrémité supposée du chenal de la passe.

Méthode

Les profils de température ont été déterminés in situ au moyen d'un thermistor lesté dont la résistance est mesurée par un multimètre électronique. Du fait d'un changement de gamme de mesure à 2 K Ω (15° C) les variations détectables (sensibilité) sont :

- environ 0,15 K en dessous de 15° C,
- environ 0,02 K au dessus de 15° C.

Un étalonnage trimestriel permet de corriger la faible dérive de la résistance du thermistor (dérive inférieure à 0,1 K entre juin 1981 et avril 1982).

Résultats

Des exemples de profils obtenus en 1981-82 au point D sont représentés figure 5.4. Ils soulignent la variabilité de la structure verticale, aussi bien au cours de l'année que durant la journée, en fonction des courants de marée entrant (c.e.) ou sortant (c.s.) par la passe.

Par temps assez calme, les courants entrants de marée sont sensibles en surface au point D, de l'ordre de 5 à 20 cm.s⁻¹. Le schéma général est alors celui d'une couche d'eau jeune (pour la lagune), ou fréquemment renouvelée, de 2 à 3 m d'épaisseur, surmontant un hypolimnion plus stable et plus ancien : en courant entrant, l'eau marine repousse une couche d'eau lagunaire superficielle. En l'absence de mélanges ou de courants transversaux devant la passe, la même eau quitterait la lagune par courant sortant. Il faut cependant remarquer que ces courants transversaux existent dans la couche superficielle et aussi dans les eaux de fond, comme le montrent les variations à court terme de la température des eaux profondes au point D. Une proportion plus ou moins grande du flux entrant est alors remplacée par de l'eau lagunaire dans le flux sortant.

Lorsque le courant entrant a lieu en milieu de journée, l'eau marine est souvent plus chaude que l'eau lagunaire, et l'inverse se produit lorsque l'eau entre en fin de nuit (figure 5.4). Ces variations indiquent que les eaux marines qui entrent dans la lagune proviennent pour une bonne part de zones peu profondes, côtières, où les variations nyctémérales sont prononcées.

Deux observations dans les parages de la passe (figure 5.5) sont en accord avec ce schéma et suggèrent en outre qu'une forte composante de flux entrant vient de l'Est. Une généralisation à partir de ces deux exemples serait cependant abusive.

Figure 5.3 - Profils de température devant la passe le 29 juillet 1981.
Le point D correspond à la palme marquant la limite de
la zone de pêche interdite aux pêcheurs privés.

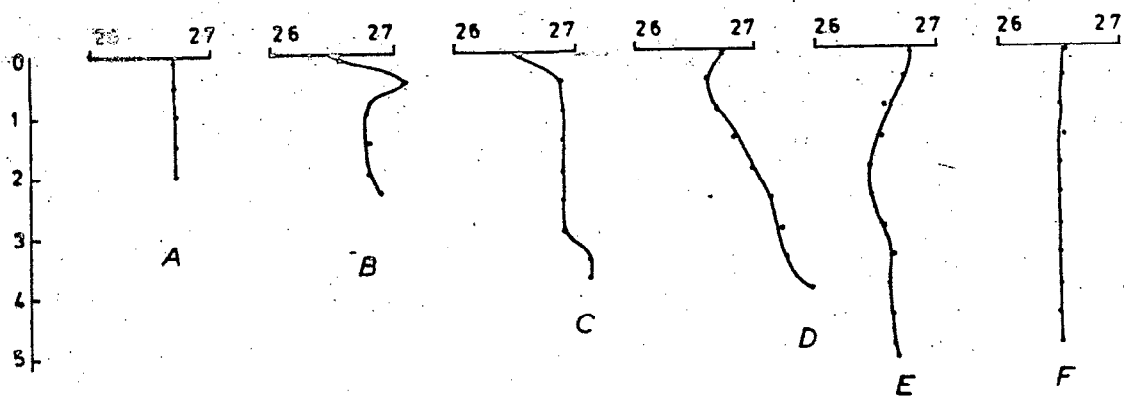
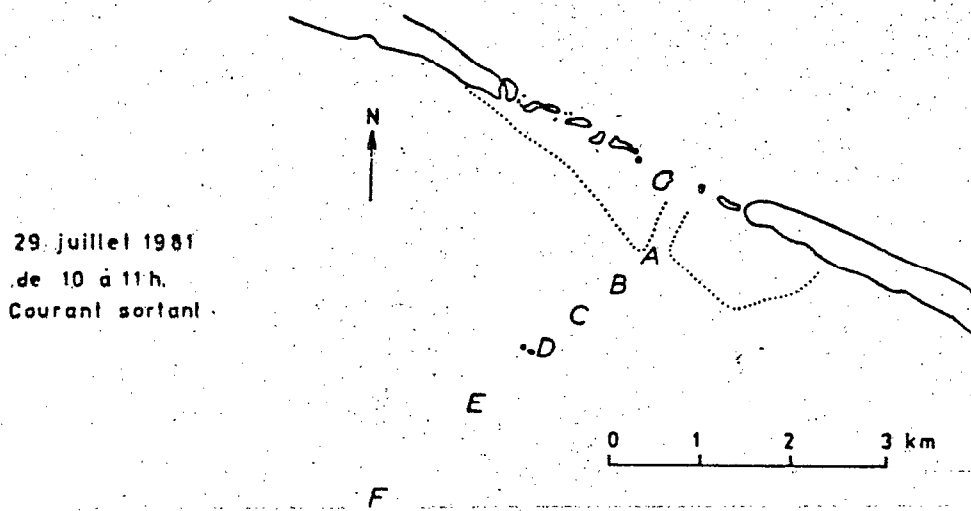


Figure 5.4 - Exemples de profils de température au point D

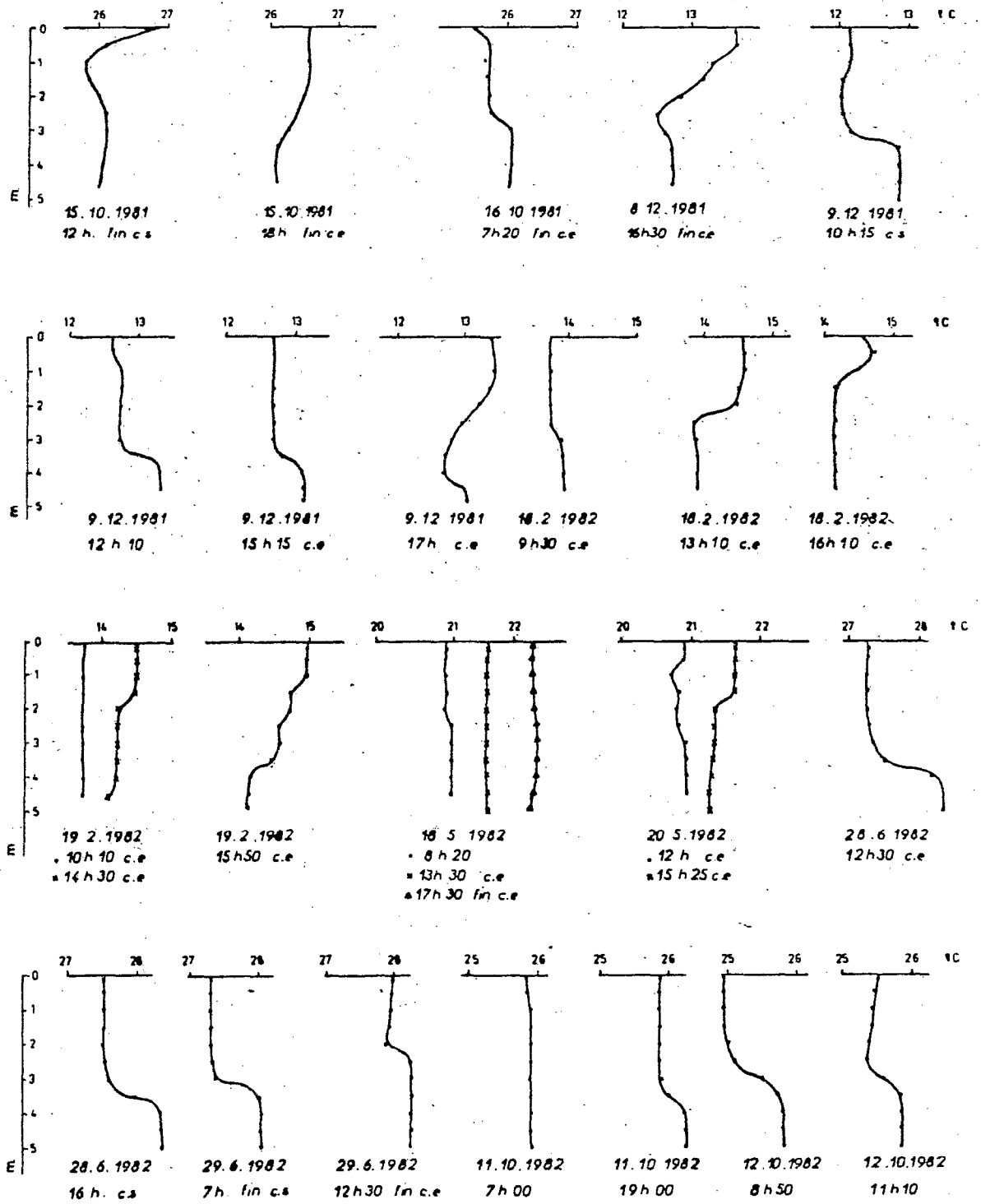
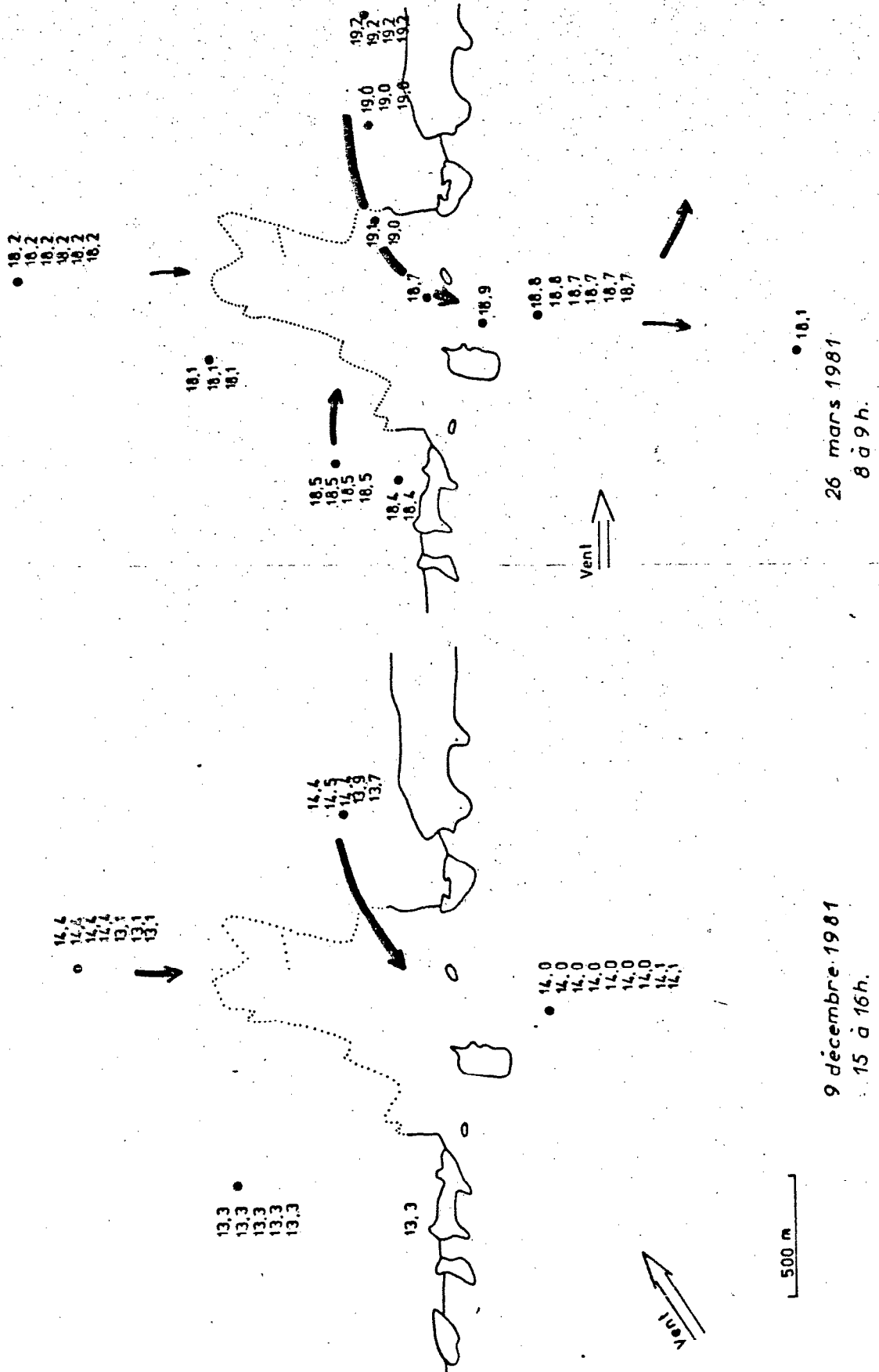


Figure 5.5 - Structure thermique dans les parages de la passe en courant par vent d'Ouest.
Mesure tous les .50 cm. Les flèches indiquent les courants.
Exemples du 26/3/81 et du 9/12/81.



5.3 - Structure thermique sur la radiale Jedaria - El Marsa

Les profils de température sur la radiale de Jédaria à El Marsa donnent une indication sur les divers types de structure thermique qui peuvent être rencontrés dans la lagune.

Le premier point de cette radiale, situé environ 200 à 300 m du bord, devant l'embarcadère de Jedaria, est soumis aux courants de marée. Les autres points sont régulièrement espacés en direction d'El Marsa et représentent la zone centrale de la lagune. La dernière station, située entre 300 et 1000 m d'El Marsa, a souvent un caractère de zone de rivage.

Le tableau 5.3 résume les différents types de profils rencontrés suivant la classification suivante :

- Z = stratification inverse, eau plus froide en surface
- S = stratification directe
- I = homogénéité de la surface au fond
- / = faibles variations sur le profil, peu différent de l'homogénéité
- R = stratification directe attribuée au réchauffement diurne, qui peut aussi masquer une stratification directe plus stable
- X = profil irrégulier résultant de courants et de mélanges

Dans le tableau, chaque symbole représente une station, une radiale comportant de 3 à 7 stations équidistantes.

On constate en premier lieu que les stratifications inverses sont fréquentes, aussi bien en hiver qu'en été, et ne sont pas spécifiques aux observations les plus matinales, qui pourraient s'expliquer par un refroidissement nocturne.

A partir de mai 1982, des mesures de salinité au fond ont complété les mesures de surface lors de stratification thermique nette : les deux types de stratification sont le plus souvent associées.

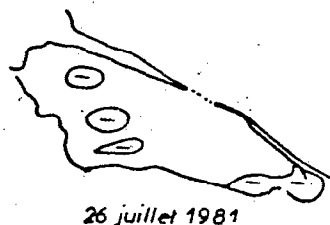
Les observations sur la radiale indiquent donc une structure thermique complexe de la zone centrale qui peut être schématisée selon plusieurs échelles de temps :

- à l'échelle annuelle, c'est un plan d'eau polymictique peu profond,
- à l'échelle de 3 à 15 jours, c'est un plan d'eau méromictique où la couche profonde (monimolimnion) peut être plus chaude que la couche superficielle (mixolimnion). Une telle inversion s'explique par la stratification saline et la transparence de l'eau : les pertes de chaleur de la couche profonde, qui reçoit un rayonnement lumineux important, sont beaucoup plus faibles que celles de la couche superficielle (évaporation et conduction).

Tableau 5.3 - Caractéristiques schématiques des structures thermiques sur la radiale Jedaria - Marsa (voir texte)

DATE	HEURE	Jedaria			Marsa		
28.05.81	14						
15.07.81	13.30	Z	R	R	R	R	
27.07.81	14.30	I		I		I	
29.07.81	16	S		/		I	
31.07.81	11.30	X	R	R	R	R	R
14.10.81	10	S	Z	Z	Z	Z	R
16.10.81	9.30	X	Z	Z	Z	Z	R
06.11.81	10.30	Z	I	R	Z	Z	Z
25.11.81	9	Z	Z	Z	R	I	I
08.12.81	14	Z	R	Z	Z	I	I
13.01.82	10	X	Z	I	I	I	I
17.02.82	9.30	I	I	I	I	I	I
17.03.82	12	Z	Z	R	R	R	R
20.05.82	8.30	I	Z	Z	I	I	I
29.06.82	8	I	Z	Z	I	I	I
23.07.82	8.30	Z	Z	Z	I	I	I
26.08.82	10.30	Z	Z	Z	I	I	I
21.09.82	8	Z	Z	Z	I	I	I
13.10.82	8	S	I	I	I	Z	Z
22.11.82	10	Z	Z	Z	Z	I	I
28.01.83	10.30	Z	Z	Z	Z	Z	Z
23.02.83	9.30	I	I	I	I	I	I
23.03.83	9	X	S	S	Z	X	X
24.05.83	8.30	S	I	I	Z	I	I
23.06.83	9.30	X	Z	Z	/	I	I
05.07.83	9.30	I	I	I	I	I	I
13.10.82	8	S	I	I	I	Z	Z
22.11.82	10	Z	Z	Z	Z	I	I
28.01.83	10.30	Z	Z	Z	Z	Z	Z
23.02.83	9.30	I	I	I	I	I	I
23.03.83	9	X	S	S	Z	X	X
24.05.83	8.30	S	I	I	Z	I	I
05.07.83	9.30	I	I	I	I	I	I
09.07.83	10		Z	Z	I	Z	Z
25.08.83	10	I	I	I	I	I	I
23.09.83	9.30	Z	Z	Z	Z	Z	Z
04.11.83	12	Z	Z	Z	Z	Z	Z

Figure 5.6 - Plages de températures de surface observées par le satellite NOAA 7 (voir texte)



5.4 - Quelques exemples de répartition des températures superficielles

Les observations de terrain suggèrent parfois l'existence de plages de températures superficielles différentes dans la lagune, les écarts maximaux étant de l'ordre de 1,5 à 2 K. Mais les dimensions du plan d'eau imposent des délais de plusieurs heures entre les mesures aux extrémités du bassin ce qui rend incertaine la validité des comparaisons.

Cet inconvénient disparaît lorsque les données du satellite NOAA 7 sont utilisées, puisque l'ensemble des températures superficielles de la lagune (et de la Méditerranée centrale) peut être saisi de façon synoptique.

Les informations captées par le radiomètre thermique du satellite sont traitées au Centre de Météorologie Spatiale à Lannion (France) et fournies sous forme d'images comportant des teintes de gris correspondant chacune à une plage de température de 0,5 K (CHAMPAGNE-PHILIPPE et al., 1982 ; CMS, 1983). Les images disponibles pour 1981 permettent d'observer les gradients de température sur les côtes tunisiennes, ainsi que les inversions saisonnières de température entre les zones au large et les régions les moins profondes.

En ce qui concerne la lagune El Bibane et sa région, les inversions de température entre lagune et mer ont eu lieu à la fin de février et fin octobre 1981. Entre ces deux dates, la lagune était plus chaude que la mer. On observe en outre une hétérogénéité des températures superficielles, représentées figure 5.6 où les signes + et - représentent des zones de température plus chaudes et plus froides que les zones adjacentes. Des images à 4 jours d'intervalle montrent que la situation peut changer rapidement du fait de la circulation horizontale et verticale des eaux de la lagune.

5.5 - Répartition des structures thermiques

Un profil de température a été mesuré à chaque station au cours des campagnes depuis avril 1981 jusqu'à novembre 1983. Une description de tous les profils n'apporterait que peu d'éléments à la connaissance de la lagune, l'essentiel des différentes situations possibles ayant été décrit avec la radiale Jedaria-El Marsa.

Cependant, l'interprétation de profils d'oxygène ne pouvant être dissociée de la température, un certain nombre de profils de température et d'oxygène sera donné plus loin pour les années 1981-82 (figures 6.1 à 6.5). Nous soulignerons alors quelques caractéristiques spécifiques de différentes régions de la lagune.

6 - L'OXYGÈNE DISSOUS

6.1 - Méthode

La pression partielle de l'oxygène dissous a été mesurée avec une sonde polarographique (y.s.i) à compensation automatique de température. L'expérience montre que des résultats reproductibles ne sont atteints qu'avec un étalonnage fréquent (plusieurs fois par jour lors d'une campagne) et en laissant suffisamment de temps pour atteindre l'équilibre thermique à

Figure 6.1 - Profils de température et d'oxygène et localisation des stations (carte).

L'échelle des températures est donnée au-dessus du profil (trait plein) et celle des pourcentages de saturation en oxygène (tireté) en-dessous du profil.

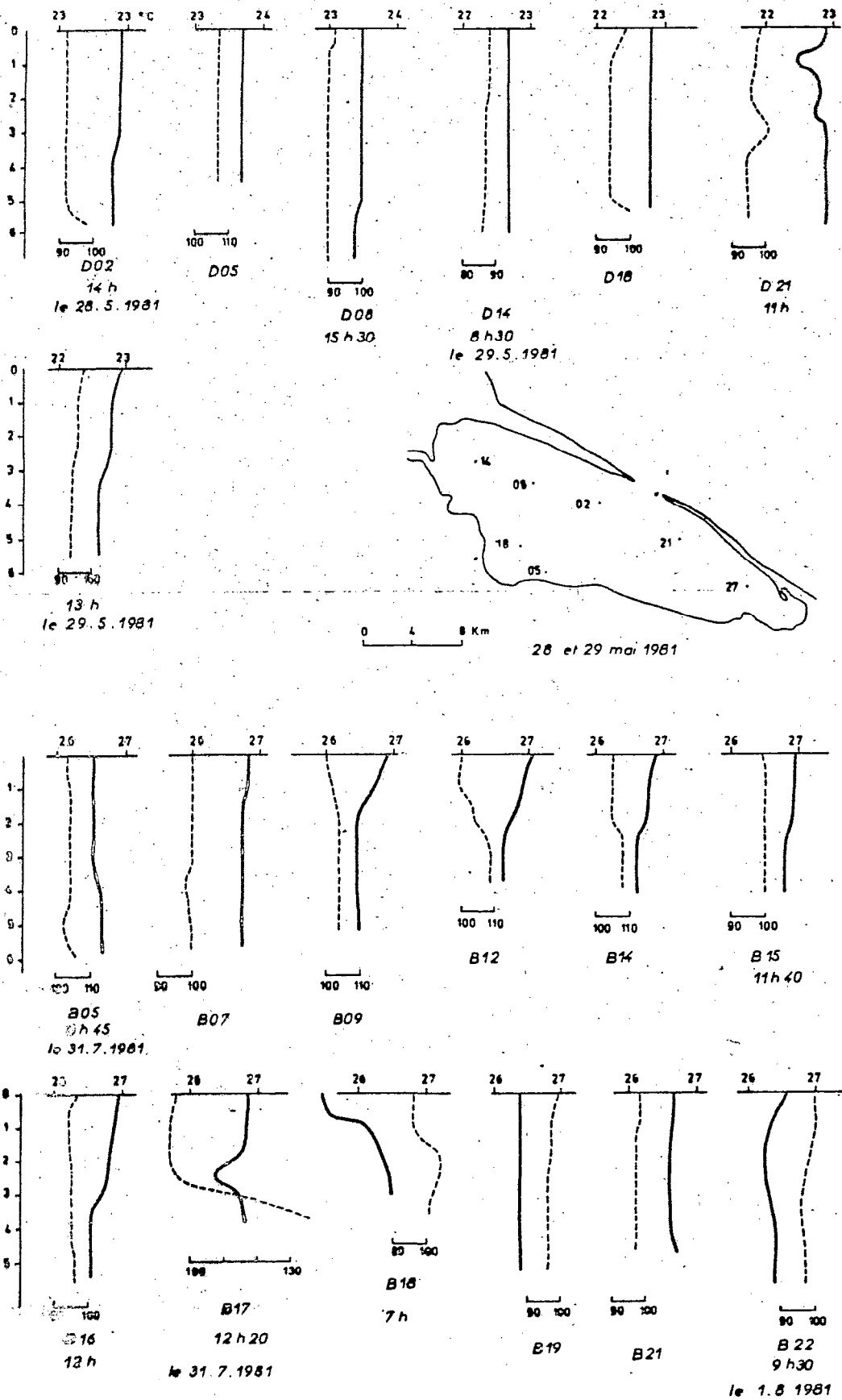


Figure 6.2 - Profils de température et d'oxygène

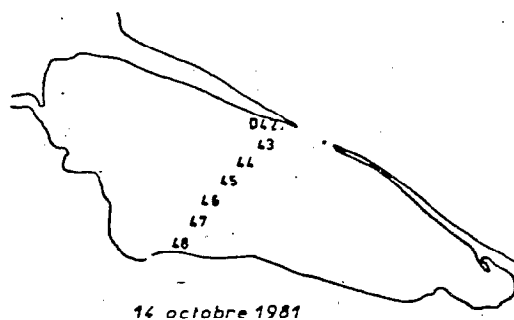
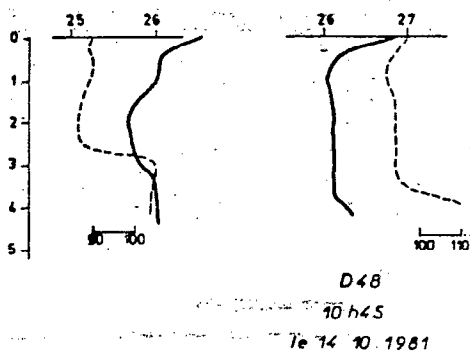
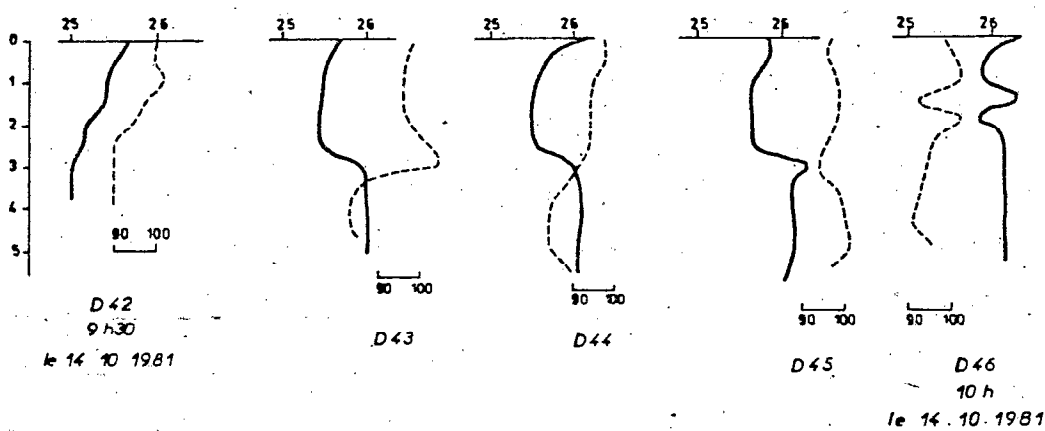
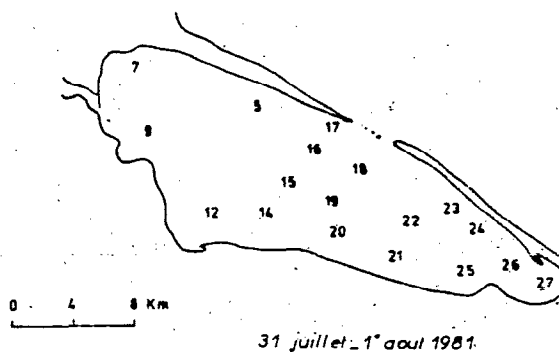
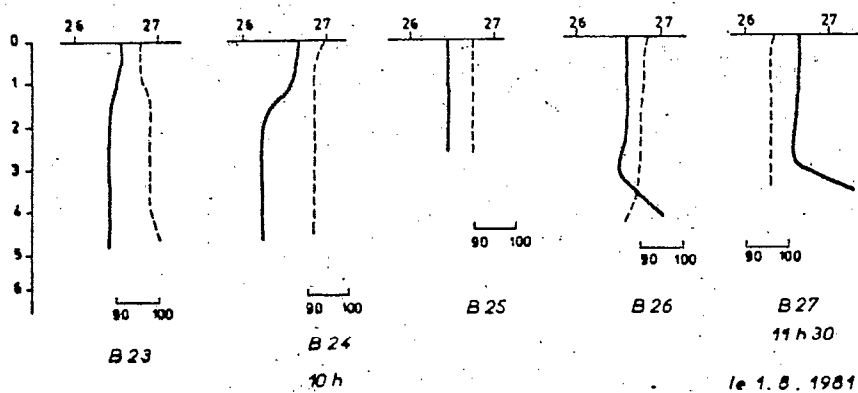


Figure 6.3 -- Profils de température et d'oxygène des 8 et 10 décembre 1981.

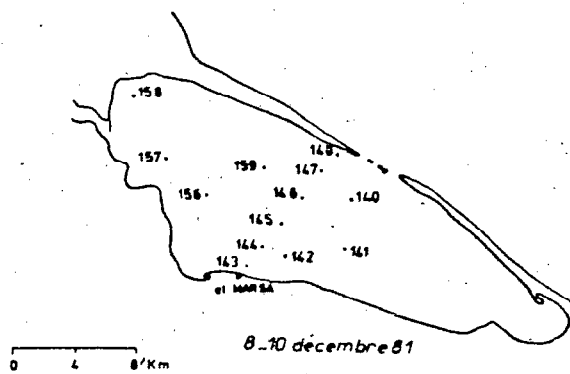
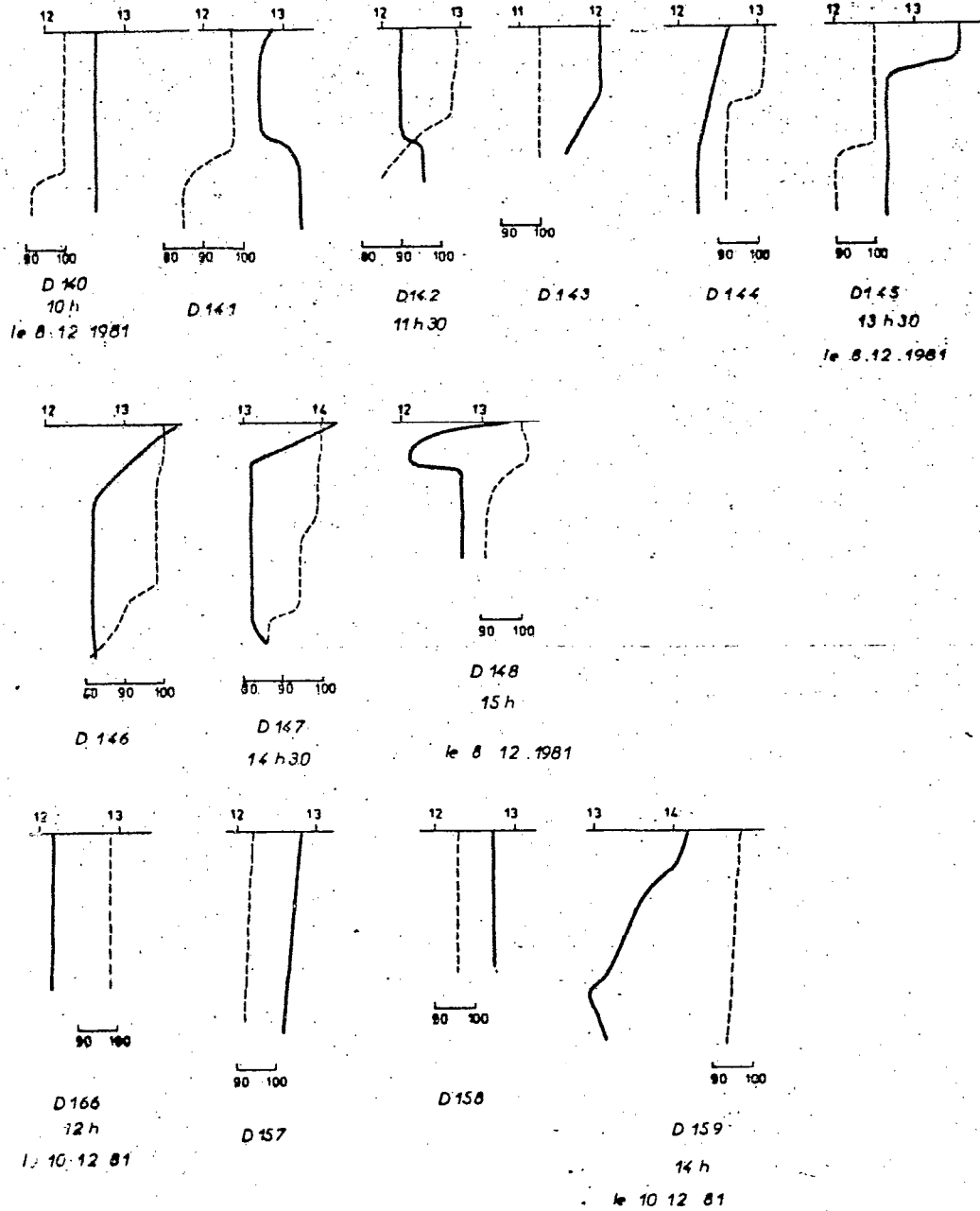


Figure 6.4 - Profils de température et d'oxygène du 26-27 août 1982

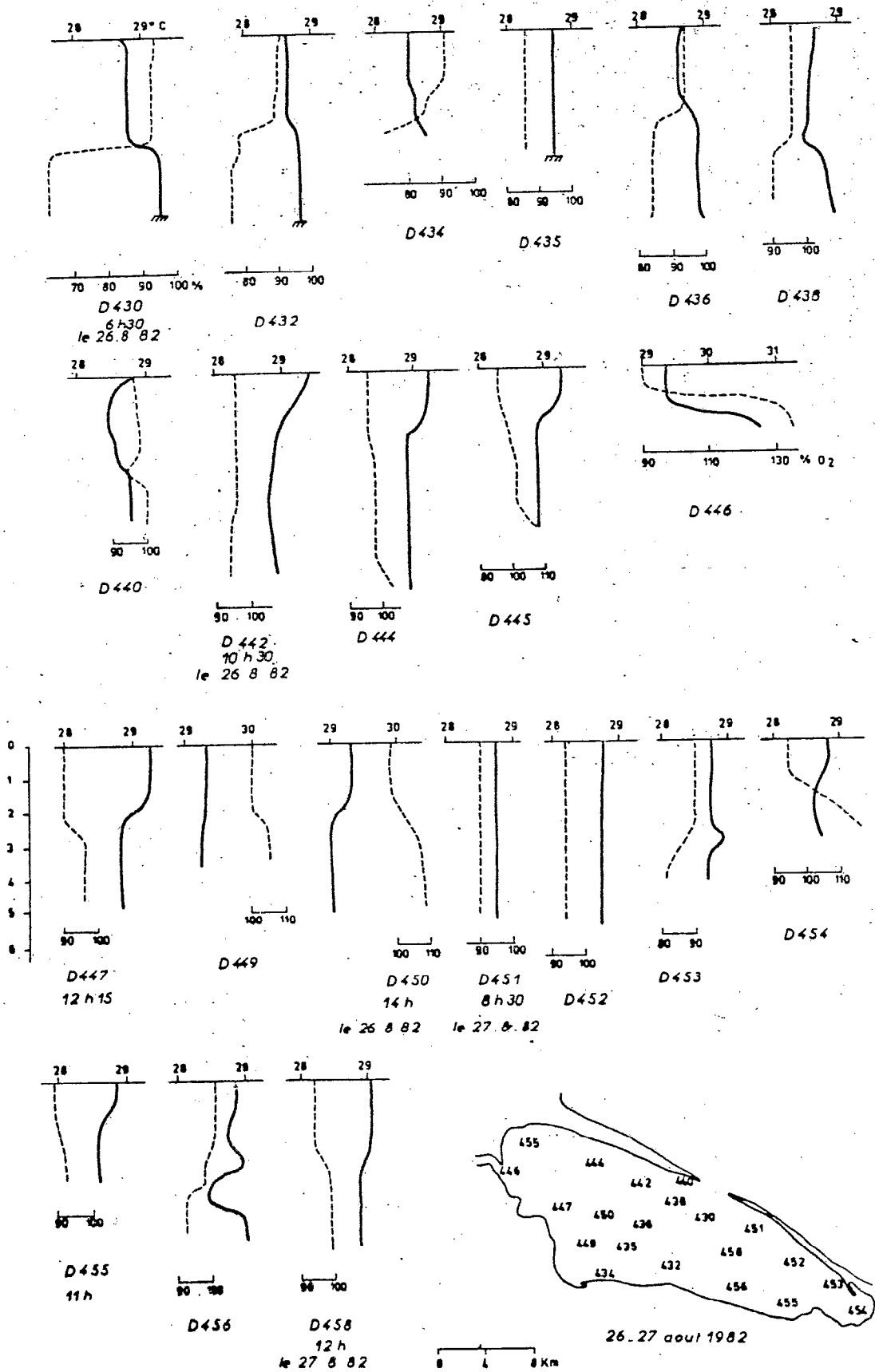
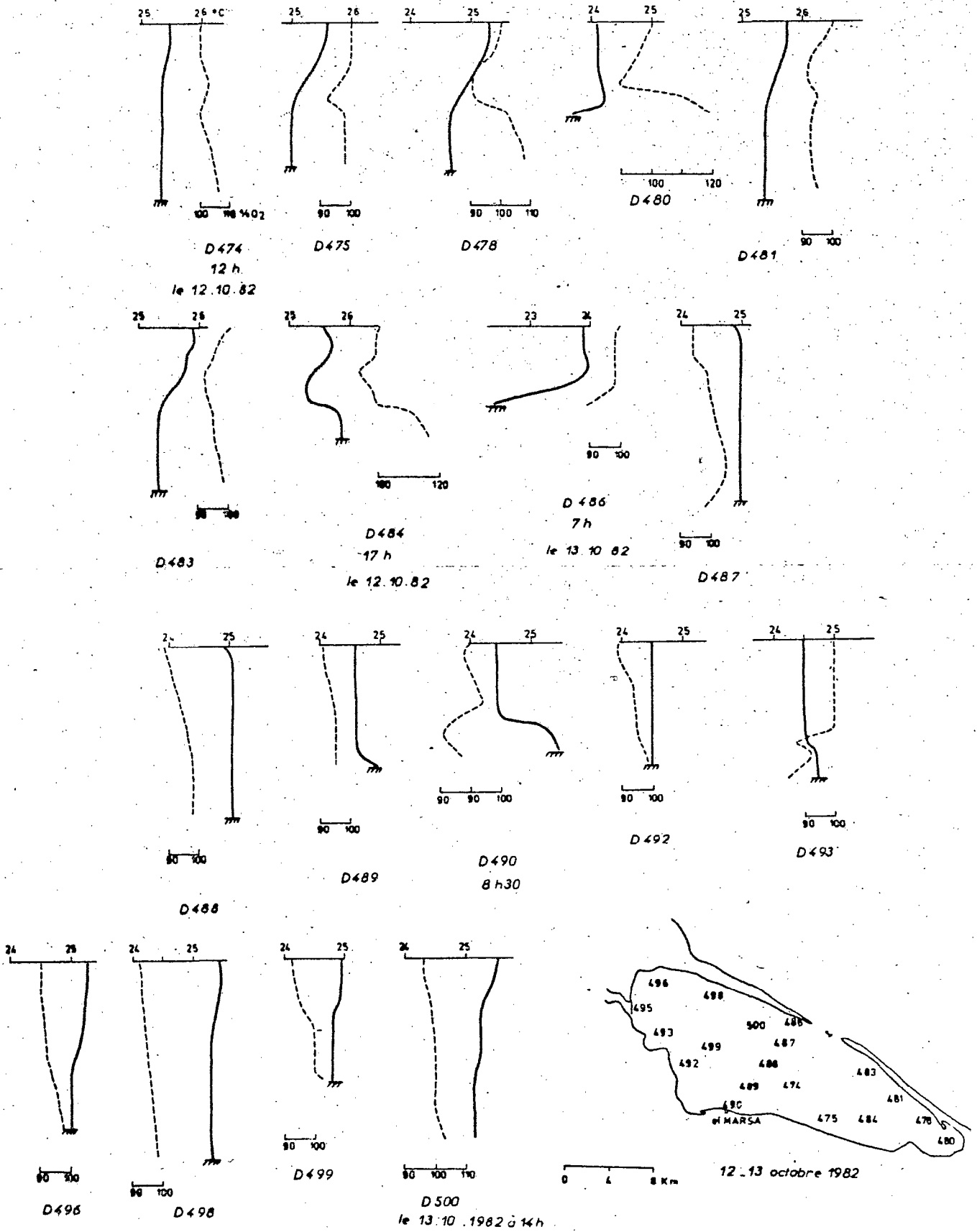


Figure 6.5 - Profils de température et d'oxygène du 12-13 octobre 1982



chaque mesure. A cet effet, la sonde était immergée au moins 5 minutes avant le début de détermination d'un profil.

L'étalonnage était fait dans un seau d'eau lagunaire vigoureusement brassée et estimée atteindre ainsi la saturation. On peut estimer dans ces conditions que la justesse est de l'ordre de $\pm 4\%$, et la sensibilité de 1 % de la saturation.

Les résultats sont exprimés en pourcentage de saturation.

6.2 - Résultats

Les profils de température et d'oxygène obtenus au cours de l'année 1981 et durant l'été 1982 sont donnés figurés 6.1 à 6.5.

**Campagne du 25 mars 1981*

L'oxygène en surface et près du fond a été mesuré à 26 stations réparties sur l'ensemble de la lagune. Pour une température de 18° à 19° C, les mesures indiquent des valeurs très proches de la saturation, à 5 % près, dans des conditions d'homothermie de la colonne d'eau et réchauffement superficiel en cours de journée.

**Campagne du 28-29 mai 1981 (figure 6.1)*

Par vent moyen les profils d'oxygène et de température indiquent une situation très proche de l'homothermie avec des tensions d'oxygène comprises entre 85 et 110 %. La station 21 représente une zone de mélange.

**Campagne du 13-14 juillet 1981*

Toute la zone centrale de la lagune (26 stations au total) présente une distribution verticale de la température homogène de la surface jusqu'au fond, à la suite de plusieurs jours de vents forts. Six profils d'oxygène indiquent une saturation de 95 à 100 % dans l'ensemble de la masse d'eau. Une mesure dans la zone confinée derrière la langue de sable d'Ouden Bouri indique 130 % à 11 h, avec un phytoplancton dense.

Le 15 juillet, avec un temps très calme, une légère stratification débute.

**Campagne du 31 juillet - 1er août 1981 (figures 6.1 et 6.2)*

La situation est toujours très homogène, toutes les mesures d'oxygène étant comprises entre 90 et 110 % de la saturation, sauf à la station B 17 devant Jedaria où les courants d'entrée isolent une eau de fond sursaturée par la photosynthèse des herbiers en milieu de journée. Dans les milieux peu profonds, on observe parfois une sursaturation près du fond, dans les herbiers (stations B12 et B14).

**Campagne du 14 octobre 1981 (figure 6.2)*

Par temps calme, deux couches d'eau différentes sont superposées dans le centre de la lagune ; la couche supérieure est proche de la saturation en milieu de matinée, la couche profonde présente différentes tensions en oxygène suivant les endroits (85 à 110 %).

**Campagne des 8 et 10 décembre 1981 (figure 6.3)*

On observe une stratification thermique assez nette le 8 en milieu de journée dans la partie centrale de la lagune (stations D140 à D145, et D148) avec une légère sous-saturation (85 à 95 %) dans l'hypolimnion, mais partout des valeurs de 100 % en surface.

Le 10 décembre, dans l'ouest de la lagune, la distribution verticale est homogène et comprise entre 90 et 100 %.

**Campagne du 26-27 août 1982 (figure 6.4)*

En milieu de l'été, l'évolution diurne est sensible dans les différentes régions de la lagune.

En début de la journée du 26, par temps calme, une légère stratification inverse (stations D430, 432, 436, 438), induit un déficit plus ou moins sensible dans les zones profondes (62 à 90 %), mais absent aux bordures (D434) ou sur les hauts fonds qui sont habituellement des zones de mélange (D435). En cours de journée, le réchauffement diurne se manifeste et le déficit des eaux profondes disparaît (D444, D445), puis se transforme en excédent (D447, 449, 450) sous l'effet de la photosynthèse des herbiers.

Dans la nuit du 26 au 27, et le matin du 27, un vent moyen homogénéise la couche d'eau (D451, D452) et crée des courants de mélange (D453, D456).

L'oxygénation au cours de ces deux journées est caractérisée par des écarts assez grands de part et d'autre de l'équilibre sous l'effet de l'influence des herbiers la nuit (60 % en D430) ou le jour (135 % devant El Mekkhada, 115 % à Ouden Bouri).

**Campagne du 12-13 octobre 1982 (figure 6.5)*

La situation est assez peu contrastée, les pressions partielles sont généralement comprises entre 90 et 110 %, avec une exception dans les zones peu profondes (D480, D484, D490) ou face à Jedaria (D486). La structure thermique reflète essentiellement un réchauffement diurne, plus qu'une véritable stratification, et hors des zones de mélange, la distribution verticale de l'oxygène ne présente pas de particularité.

6.3 - Remarques générales

Les observations qui viennent d'être décrites, ainsi que l'examen des autres profils de température relevés au cours de la période 1981-83 conduisent à des remarques générales sur les conditions d'oxygénation dans la lagune.

D'une part, les mesures effectuées n'ont pas mis en évidence de situation défavorable pour les poissons. Les eaux de la lagune sont en général bien oxygénées, l'instabilité estivale de la colonne d'eau et la présence d'un herbier important concourent à créer des conditions favorables d'oxygénation pendant l'été, qui est la saison critique pour les lagunes tunisiennes.

Bien que les mortalités estivales de poissons ne soient pas connues dans la lagune, les conditions peuvent cependant se dégrader en certaines occasions. Les risques principaux proviennent de la conjonction d'une stratification durable avec une consommation d'oxygène par un herbier dont la photosynthèse est ralentie, soit par un manque de transparence de l'eau, soit en fin de période de végétation (novembre).

D'autre part, des zones peuvent être définies, où des caractères fréquents ou permanents ont été relevés.

Il s'agit notamment de :

- toute la zone de profondeur inférieure à 3,5 m, soumise à des courants actifs lorsque le vent souffle (pourcentage de saturation en oxygène proche de 100), et sursaturées au fond par temps calme,

- la région où les courants de marée sont sensibles, avec une stratification thermique relativement fréquente dans la zone profonde.

- de zones plus restreintes, de profondeur moyenne, les unes avec une tendance à la stratification (au Sud-Est des deux hauts fonds devant El Marsa et Bou Guernin), les autres sièges de courants fréquents (stations D478 et D481 du 13.10.1982, figure 6.5).

Les caractéristiques de ces différentes zones sont complétées par les mesures de la salinité, moins dépendante du cycle nyctéméral et qui intègre donc les variations du milieu sur un pas de temps plus grand.

7 LA SALINITÉ

La salinité a été mesurée au laboratoire avec un salinomètre à induction. L'échelle de salinité pratique utilisée ici est conforme à la définition du SCOR-UNESCO (1981). Rappelons que cette salinité, définie à partir d'un rapport de conductivités, s'exprime sans dimension (bien que les nombres utilisés soient très proches de la quantité de sel (en g) contenue dans un kg d'échantillon).

7.1 Salinité de surface sur la radiale Jedaria-El Marsa

La salinité, mesurée sur la radiale aux mêmes stations que la température, est comprise entre 39,1 et 46,5, les valeurs les plus faibles étant généralement observées près de Jedaria, et les plus fortes devant El Marsa. L'ensemble des résultats (tableau 7.1) est représenté figure 7.1 sur laquelle l'évolution saisonnière de la salinité au centre de la lagune est indiquée par une ligne discontinue : la salinité passe par un maximum à la fin de l'été et un minimum à la fin de l'hiver. En période de stratification (septembre-octobre 1981, août 1983), les eaux marines moins salées recouvrent les eaux plus denses et pénètrent plus loin vers l'intérieur de la lagune ; il en résulte une diminution de la salinité de surface.

7.2 Salinité de surface sur l'ensemble de la lagune

D'une manière générale, on observe un gradient croissant de salinité dans la lagune à partir de la passe. Ce gradient n'est pas uniforme dans toutes les directions, sa répartition évoluant avec les saisons (figures 7.2 a et 7.2 b).

Les isohalines de surface marquent une tendance nette à être parallèles à la ligne des slobes en hiver, et évoluent progressivement vers une allure circulaire concentrique bien marquée en été. Les régions susceptibles d'atteindre les plus fortes salinités sont l'extrémité S.E de la lagune (Ouden Bouri) et plus localement, devant l'entrée d'El Mekkhada, où s'observent des salinités extrêmes de l'ordre de 100.

Les observations de 1981-83 peuvent être comparées à celles de Keer (1976) pour 1972-73 (figure 7.3) et à celles de Medhioub (1979) pour 1976-77 (figure 7.4). Remarquons que les trois séries de données ont été obtenues avec des techniques de mesure différentes : réfractomètre pour 1972-73 ; somme des ions analysés individuellement pour 1976-77, et salinomètre pour 1981-83. Si ces différentes techniques aboutissent à des précisions et des sensibilités variables, les traits généraux de la répartition de salinité n'en sont pas moins préservés et comparables.

En hiver, les répartitions de février 1981, février 1982, février 1972 et mars 1976 sont du même type, avec une salinité globale de 44 et des isolignes allongées suivant la direction de la ligne des slobes. La situation de janvier 1977 est différente en répartition et en valeur absolue (moyenne supérieure à 45).

En été, la répartition concentrique à partir de la passe est nette pour la plupart des campagnes (juillet et octobre 1981, juin, août et octobre 1982, août 1973, août 1976). Les salinités globales sont parfois différentes. Nous avons vu qu'elles dépendent en partie de la stratification ; elles peuvent également dépendre de l'évolution climatique au cours de l'année.

Tableau 7.1 - Salinité de surface sur la radiale Jedaria - El Marsa
(stations équidistantes à partir de Jedaria).

<u>1981</u>								
11.02	40,7	41,6	42,2	42,3	43,3	43,4		
04.03	41,3	41,3	41,4	42,6	42,7	42,8	43,2	
25.03	42,4	43,3	43,3	43,4	44,1			
23.04	42,6	42,4	42,7	43,6	43,7			
17.05	43,2	42,6	43,3	44,0	44,1			
29.05	43,1	43,4	43,1	44,5	44,4			
16.06	43,0	42,9	43,9	43,8	44,2			
13.07	44,4	44,9	45,6	44,7	44,5			
31.07	43,6	44,1	45,0	44,8	45,0			
20.08	42,3	44,6	44,5	44,4	45,4	44,8		
14.09	42,8	42,6	41,4	44,8	44,8	45,1		
14.10	39,1	39,5	43,5	43,9	44,2	44,3	45,1	
16.10	41,1	40,4	43,8	43,9	44,1	44,3	45,1	45,0
06.11	43,8	44,9	45,1	44,8	44,7	44,7		
25.11	43,9	44,7	44,9	44,8	44,9	44,7		
09.12	42,3	42,4	44,6	45,3	46,2	45,1		
<u>1982</u>								
13.01	41,6	43,1	44,2	45,0	44,3	44,4		
18.02	41,3	43,1	43,9	44,2	44,6			
17.03	43,1	43,7	43,9	43,5	44,1	44,0		
20.05	43,4	43,7	44,2	44,4	44,8			
29.06	44,2	43,7	44,3	44,7	44,8			
23.07	44,4	44,6	44,6	44,6	45,1			
26.08	44,6	44,8	45,2	45,3	45,9			
21.09	44,5	44,9	45,4	45,3	45,4			
12.10	43,8	45,5	45,5	45,3	46,6			
22.11	43,6	44,9	44,9	45,0	45,1			
<u>1983</u>								
28.01	43,1	37,6	43,0	43,3	43,7			
23.02	42,9	41,9	42,2	42,9	43,1			
23.03	40,1	42,5	42,9	42,9	43,5			
24.05	43,1	43,9	43,6	43,4	44,3	44,5		
23.06	43,1	43,7	44,3	44,3	44,1			
05.07	44,1	44,7	45,0	44,8	45,4			
09.07	42,5	43,9	44,3	45,5				
25.08	43,8	43,1	45,8	46,1	46,4			
23.09	44,2	42,6	45,0	45,3	45,4			
04.11	42,8	45,3	45,0	45,3	45,9			

Figure 7.1 - Evolution au cours du temps des salinités de surface sur la radiale Jedaria - El Marsa. La ligne en tireté indique les variations de la salinité dans la zone médiane de la radiale.

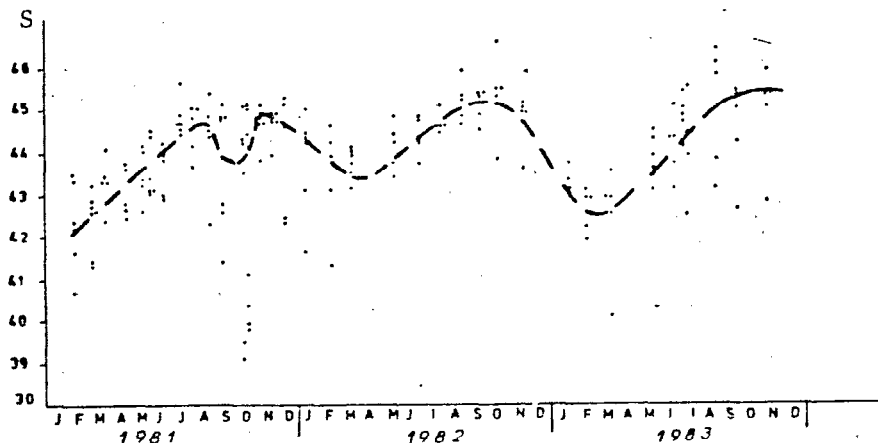


Figure 7.2 a - Répartition des salinités de surface dans la lagune.
Le nombre de stations est indiqué par le nombre n. En blanc $S < 43$;
en pointillé $43 < S < 45$; trame simple $45 < S < 46$; trame serrée $46 < S$

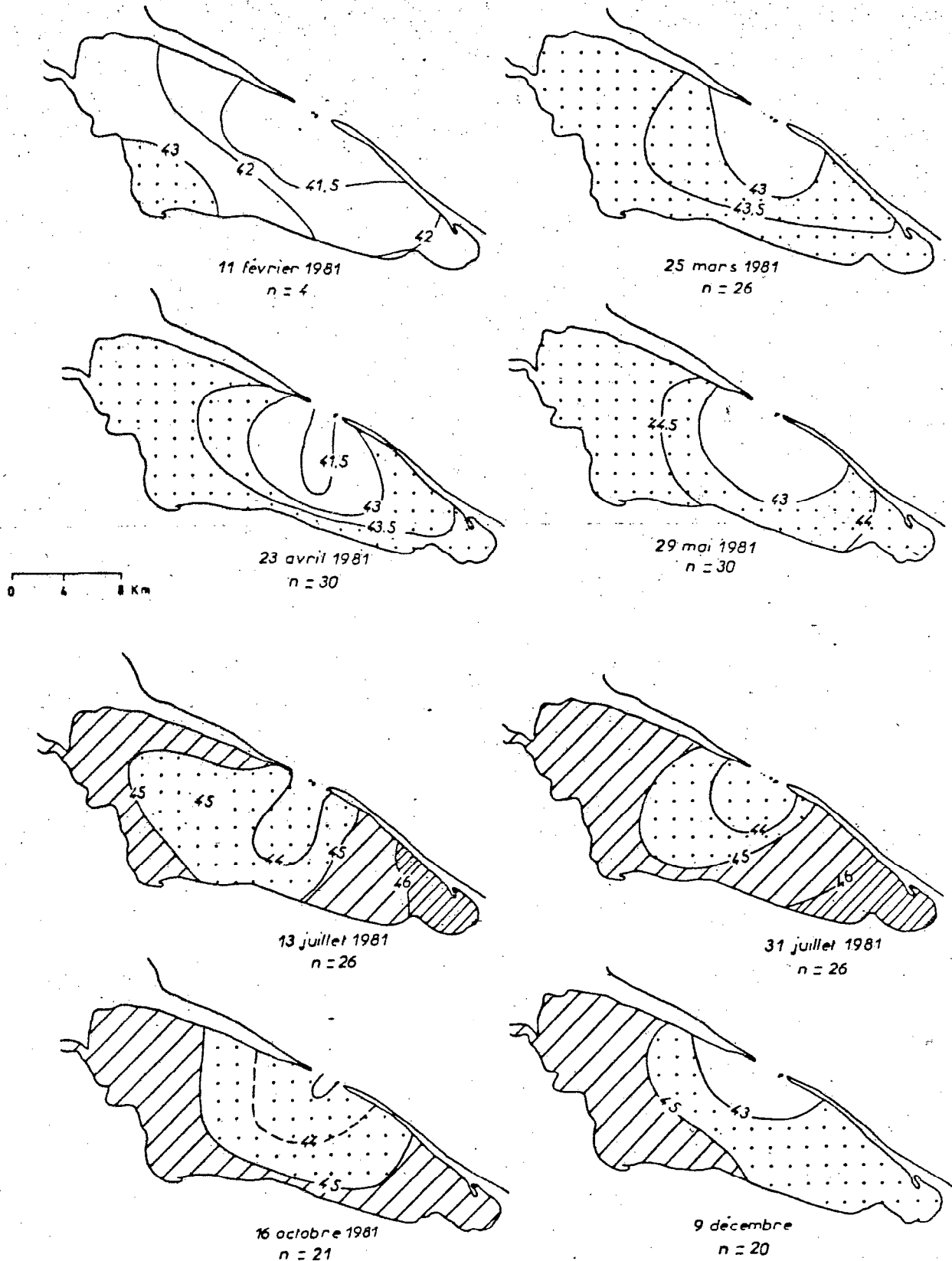


Figure 7.2b . - Répartition des salinités de surface dans la lagune.

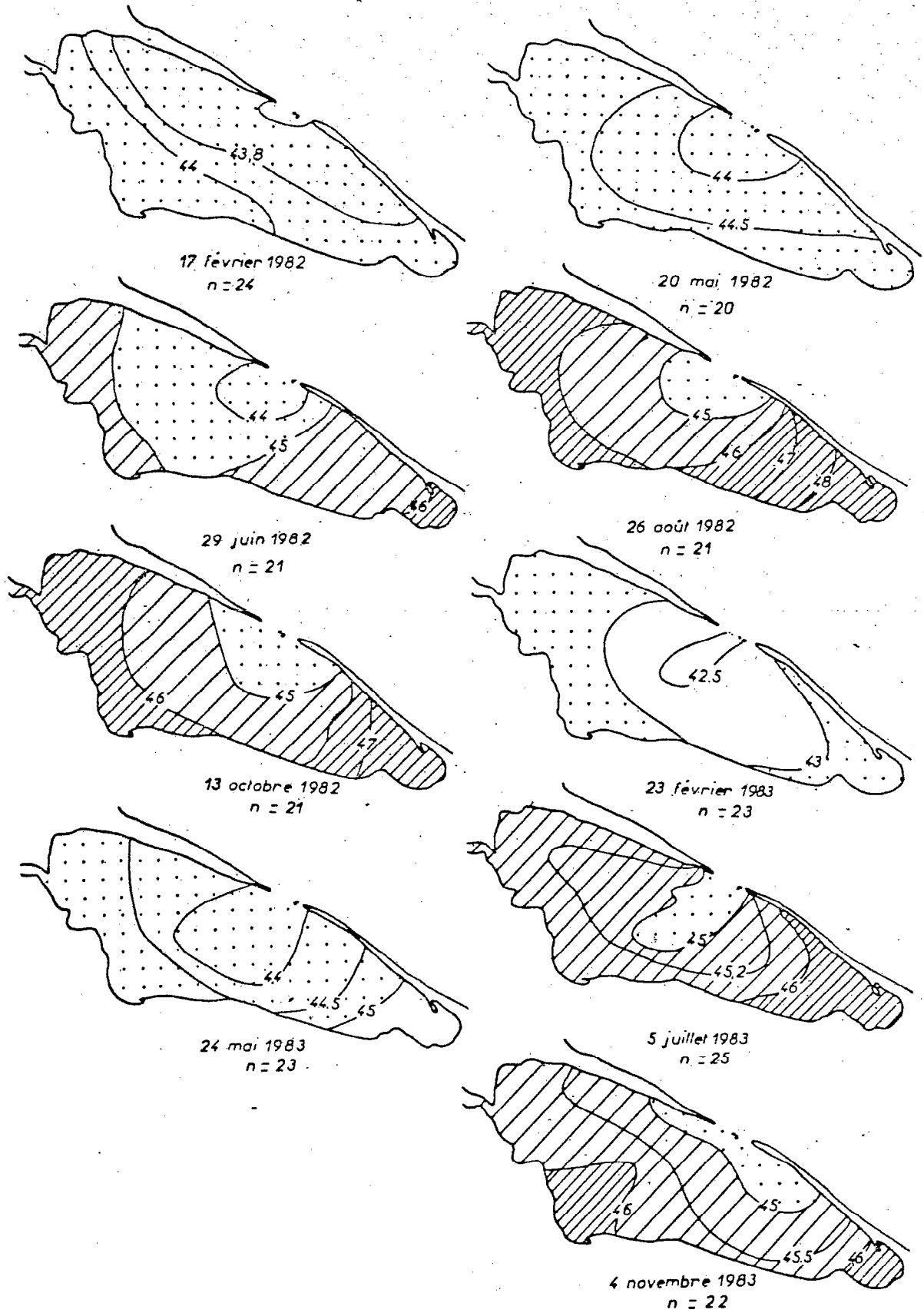


Figure 7.3 - Répartition des salinités de surface en 1972-73 (d'après KEER)

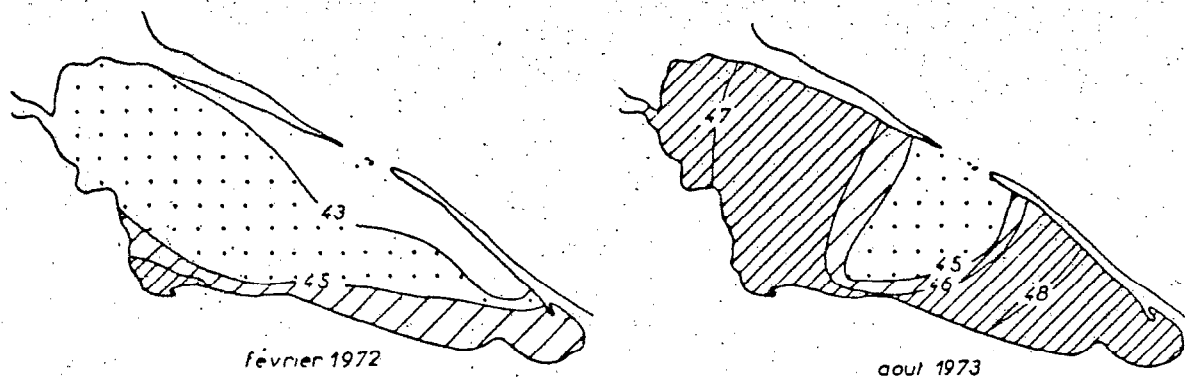
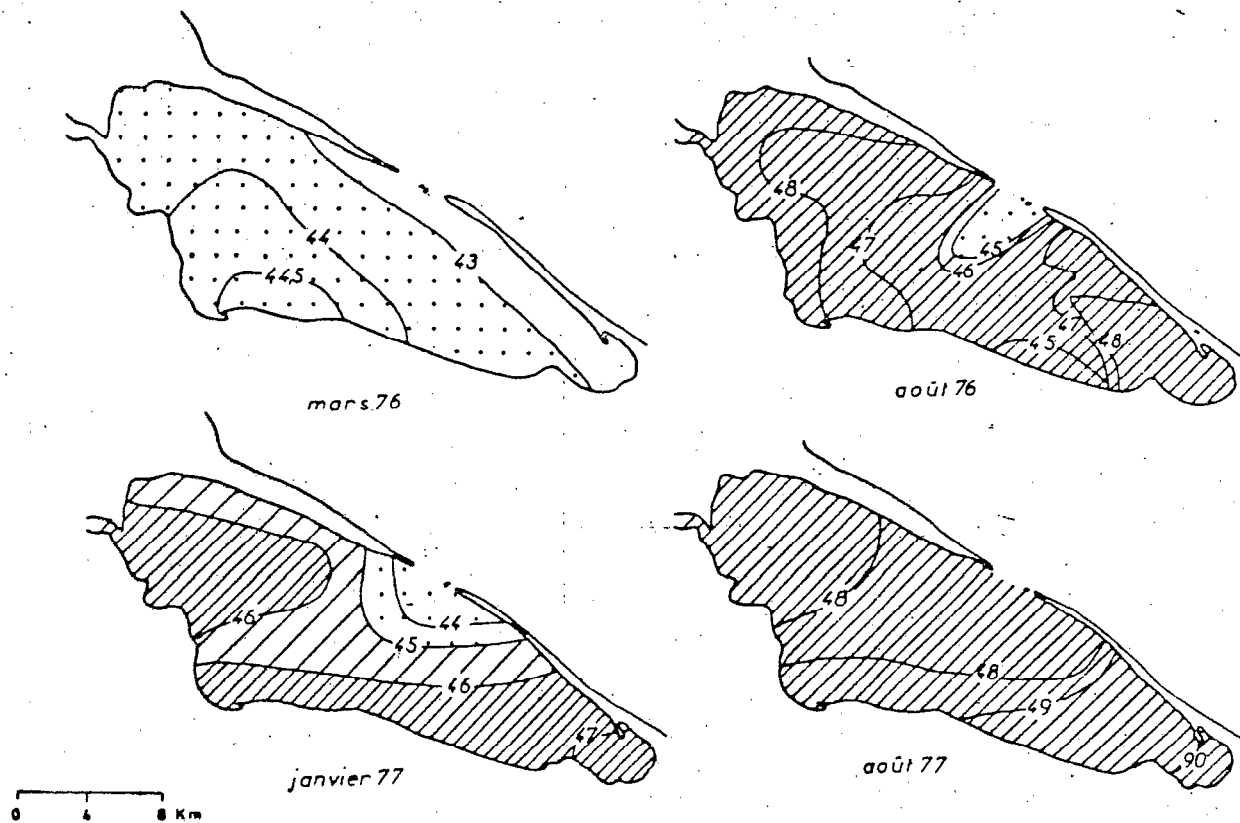


Figure 7.4 - Répartition des salinités de surface en 1976-77 (d'après MEDHIOUB)



Ainsi la répartition de février 1983 est-elle semblable à celle d'avril 1981. Par ailleurs, les résultats d'une campagne ne sont pas nécessairement représentatifs d'une saison, car ils reflètent aussi les mélanges récents en fonction du climat au cours des jours précédant la mesure.

7.3 La salinité en profondeur

Sur la radiale Jedaria-El Marsa, une stratification haline est parfois associée à une stratification thermique. Il semble cependant qu'un tel phénomène, bien que relativement fréquent, soit assez peu stable (les exceptions sont septembre-octobre 1981, et août 1982). Cette hétérogénéité résulte du mouvement de masses d'eau de température et de salinité différentes à l'intérieur de la lagune. A chaque marée, ou lors d'une élévation du niveau moyen de la mer, une masse d'eau jeune et relativement peu salée pénètre dans la lagune. Suivant les conditions de vent ou de courant, cette masse d'eau se mélange plus ou moins avec les couches sous-jacentes et se déplace dans la lagune. Le cas le plus simple est celui que nous avons déjà signalé d'une entrée d'eau en été par temps calme. Il se produit alors une stratification de densité dans la zone centrale (octobre 1981). Par ailleurs, l'évaporation diurne crée une concentration relative plus grande dans les zones les moins profondes, et donc des courants d'échange entre centre et bordure.

8 - LA VÉGÉTATION

8.1 Le phytoplancton

La biomasse du phytoplancton de surface a été évaluée par la concentration en chlorophylle. Le dosage a été fait par broyage des filtres secs, conservés à l'obscurité et au froid, dans l'acétone à 90 %, puis colorimétrie à 663 et 750 nm. Il n'a pas été tenu compte de la présence éventuelle de phéophytine.

La concentration en chlorophylle est le plus souvent inférieure à 1 mg.m^{-3} (tableau 8.1) à l'exception de l'automne 1981, période de stratification sur laquelle nous reviendrons. L'évolution au cours du temps des concentrations moyennes (figure 8.1), n'indique pas de variations saisonnières sensibles. Nous pouvons remarquer ici que les concentrations mesurées les 9 et 12 avril 1980 par GUELORGET et al. (1982), par fluorimétrie, sont de 0,3 à 1 mg.m^{-3} . Ces valeurs, obtenues par une méthode différente, confirment l'ordre de grandeur des concentrations en chlorophylle de la lagune.

En ce qui concerne la distribution dans l'espace (figure 8.2), aucune zonation ne peut être définie : les différences spatiales sont trop faibles pour être significatives lorsque l'on connaît la variabilité de la concentration en chlorophylle dans les milieux peu profonds. A titre d'exemple, nous pouvons comparer deux à deux les séries de mesures des 13 et 31 juillet 1981, d'une part, et celles du 23 juin et du 5 juillet 83 d'autre part. A une quinzaine de jours d'intervalle, les valeurs moyennes varient du simple au double (tableau 8.1), et les isolignes qu'il serait possible de tracer pour le 13 juillet 1981 ne s'accorderaient pas avec celles du 31 juillet.

Tableau 8.1 - Concentrations en chlorophylle du phytoplancton : valeurs extrêmes, nombre de stations (n), valeur moyenne sur l'ensemble de la lagune (B) et sur la radiale Jedaria - El Marsa (R). Valeurs exprimées en $\text{mg Chla} \cdot \text{m}^{-3}$

DATE	Etendue	n	B	R
25.03.81	< 0,2	12	< 0,2	< 0,2
23.04.81	0,6 - 1,6	16	0,90	0,86
29.05.81	0,4 - 1,0	14	0,51	0,45
13.07.81	0,5 - 2,9	19	1,26	2,04
31.07.81	0,1 - 1,7	18	0,65	0,74
14.09.81	5,9 - 8,4	2	-	7,15
14.10.81	2,7 - 20,8	7	-	7,14
06.11.81	6,2 - 11,6	6	-	9,13
25.11.81	1,0 - 2,8	5	-	2,10
09.12.81	1,2 - 2,7	14	1,94	1,80
17.02.82	0,8 - 2,9	13	1,52	0,96
17.03.82	0,3 - 0,8	6	-	0,55
20.05.82	0,2 - 1,1	14	0,70	0,60
29.06.82	0,3 - 1,0	12	0,62	0,46
26.08.82	0,3 - 0,5	11	0,36	0,33
21.09.82	1,0 - 1,2	5	-	1,14
13.10.82	0,5 - 0,8	12	0,56	0,56
22.11.82	0,6 - 1,5	5	-	0,98
28.01.83	0,2 - 0,4	4	-	0,30
23.02.83	0,4 - 0,7	11	0,53	0,54
23.03.83	0,2 - 0,3	5	-	0,22
24.05.83	< 0,1 - 1,1	14	0,51	0,42
23.06.83	< 0,1 - 0,2	5	-	0,1
05.07.83	< 0,2 - 1,5	11	0,48	0,26
25.08.83	0,4 - 0,6	5	-	0,48
23.09.83	0,4 - 0,7	5	-	0,52
04.11.83	0,4 - 0,9	11	0,69	0,64

Figure 8.1 - Evolution de la concentration moyenne en chlorophylle sur la radiale Jedaria - El Marsa et sur l'ensemble de la lagune.

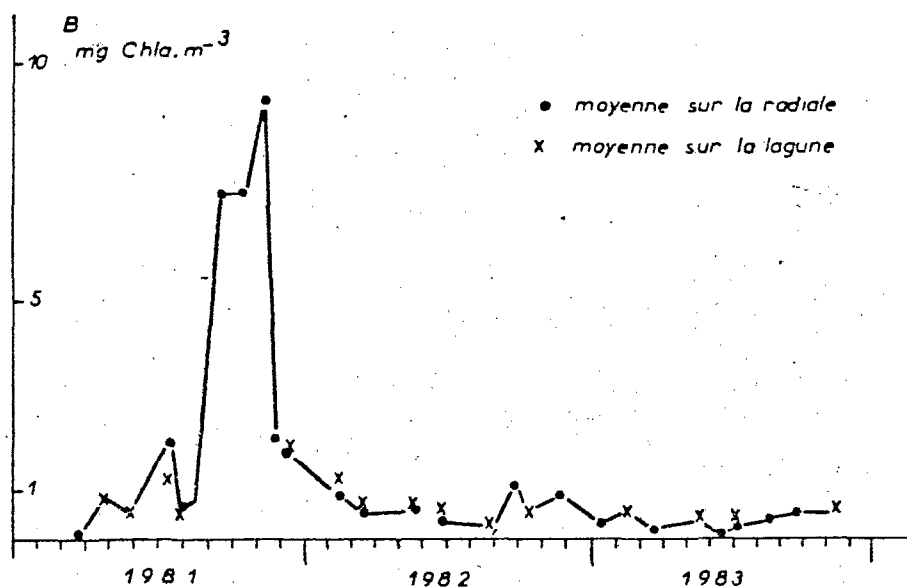
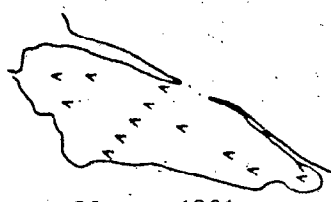
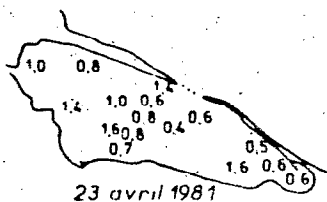


Figure 8.2 - Distribution de la chlorophylle dans les eaux de surface de la lagune

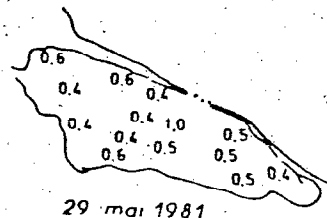
mg Chl a m⁻³



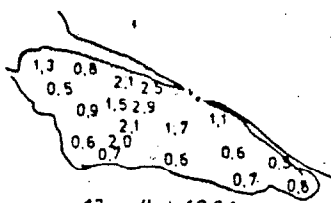
25 mars 1981
B < 0.2 mgm⁻³



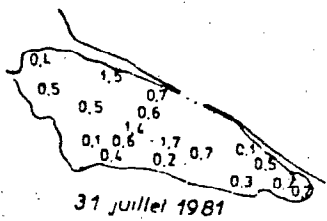
23 avril 1981



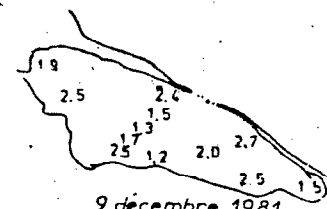
29 mai 1981



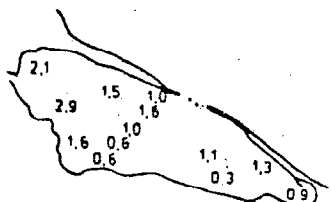
13 juillet 1981



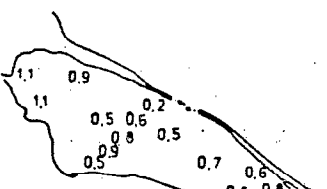
31 juillet 1981



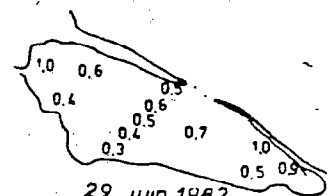
9 décembre 1981



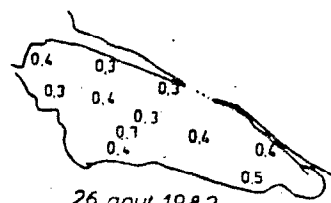
17 février 1982



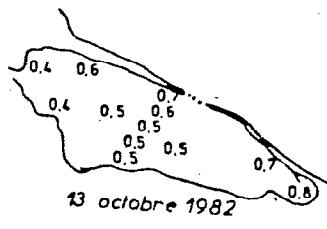
20 mai 1982



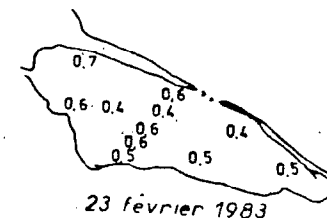
29 juin 1982



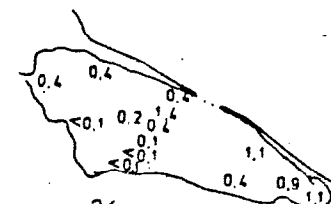
26 août 1982



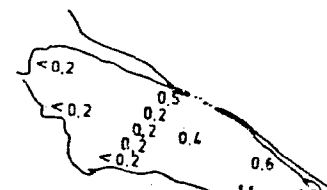
13 octobre 1982



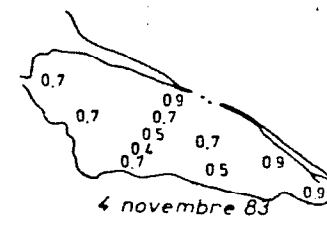
23 février 1983



24 mai 1983



5 juin 1983



4 novembre 83

Les fortes valeurs observées de septembre à octobre 1981 correspondent à un phénomène connu des pêcheurs : l'apparition d'eau brune, puis verte, ne se produit pas chaque année et peut affecter une zone plus ou moins étendue de la lagune. Cette période "d'eau morte" selon le terme des pêcheurs, semble associée à un cycle nyctéméral prononcé de la concentration en oxygène près du fond, avec des anoxies nocturnes partielles. Les périodes de poussée planctonique peuvent se produire entre mai et novembre.

8.2 Les herbiers de fond

Un herbier recouvre l'essentiel des fonds de la lagune, et semble particulièrement dense dans les profondeurs moyennes : il est plus clairsemé ou absent dans les régions les plus profondes, ainsi que le long des rives Sud et Sud-Est où la profondeur est inférieure à 2 m. GUELORGET et al. (1982) et ZAQUALI (1982) décrivent les associations de la flore et de la faune, mais une cartographie complète des herbiers, tenant compte des variations saisonnières et basée sur un nombre suffisant de stations reste à faire.

Les espèces les plus répandues sont Cymodocea nodosa, Caulerpa prolifera, Ruppia maritima et Halimeda tuna. Les relevés de GUELORGET et al. indiquent des biomasses, exprimées en matière organique sèche, de 50 à 200 g.m⁻² pour Cymodocea dans la lagune, de 50 à 100 g.m⁻² pour Ruppia devant El Mekkhada, et jusqu'à 2080 g.m⁻² pour Lithothamnium sp. dans le Nord-Ouest du bassin.

Ces chiffres sont à mettre en relation avec les biomasses en poids sec du phytoplancton, qui sont de l'ordre de 0,1 à 0,2 g.m⁻².

L'essentiel de la biomasse primaire, et probablement de la production primaire nette, se situe donc au fond de la lagune. Le réseau trophique, basé sur la photosynthèse benthique, dépend en grande partie de l'énergie lumineuse qui parvient à ce niveau. C'est la raison pour laquelle une attention particulière a été apportée à la transparence de l'eau.

Les herbiers de la lagune et de la mer perdent des feuilles à la fin de l'automne. Certaines de celles-ci flottent en surface et s'accumulent progressivement le long des berges. D'autres restent au fond. Lors des tempêtes d'hiver, elles sont reprises par les vagues et transportées vers le barrage de pêche où elles se prennent dans les grillages qu'elles obstruent partiellement. A ces feuilles s'ajoute également une algue (Codium sp.) qui se développe en boules de 5 à 10 cm de diamètre, qui peuvent être entraînées par les courants et que l'on retrouve en grandes quantités au fond des chambres de capture et le long du barrage. Ce colmatage du barrage est l'une des causes des ruptures qui sont parfois observées.

9 CHIMIE DE L'EAU ET NUTRIMENTS

La géochimie des ions majeurs, et notamment les rapports entre Ca, Mg, Na et K, ont été abordés par MEDHIOUB (1979) qui souligne l'importance des zones de forte évaporation et des sebkhas. La composition relative de l'eau de la lagune reste cependant voisine de celle de l'eau de mer et, dans une première approche écologique, peut être considérée comme constante : la concentration des ions majeurs varie dans les mêmes proportions que la salinité.

En ce qui concerne la productivité primaire, nous avons vu que la biomasse du phytoplancton est généralement faible, et donc indicatrice de concentrations également faibles d'éléments nutritifs dans l'eau. Quelques analyses ont donc été faites pour situer l'ordre de grandeur des concentrations en phosphore et azote pendant la période d'étude.

La photosynthèse des herbiers représente par contre un élément important du fonctionnement du système. Les macrophytes, qui puisent l'essentiel de leur azote et de leur phosphore par leurs racines dans le sédiment, sont directement concernés par la disponibilité des différentes formes de carbone minéral dans l'eau, dont les variations saisonnières sont décrites.

9.1 L'alcalinité

L'alcalinité est considérée ici comme un indicateur des formes et des quantités de carbone minéral dissous disponible pour la photosynthèse.

Le dosage a été fait à l'aide d'un potentiographe enregistreur (Metrohm) sur échantillon de 100 ml avec HCl 0,1 N. Les points d'équivalence ont été déterminés par la méthode des tangentes. Les échantillons ont le plus souvent été analysés moins de 4 jours après le prélèvement (sauf en juillet 1982 et août 1983, pour lesquels le CO_3^{--} n'est pas pris en compte).

L'alcalinité est définie par

$$|A| = |\text{HCO}_3^-| + 2|\text{CO}_3^{--}| + |\text{B(OH)}_4^-| + |\text{OH}^-| + |\text{H}^+|$$

soit, dans les conditions normales à El Bibane.

$$|A| = |\text{HCO}_3^-| + 2|\text{CO}_3^{--}| + |\text{B(OH)}_4^-|$$

Nous considérerons que les borates sont en concentration peu variable, et que les variations observées de l'alcalinité sont dues essentiellement aux ions carbonate et bicarbonate.

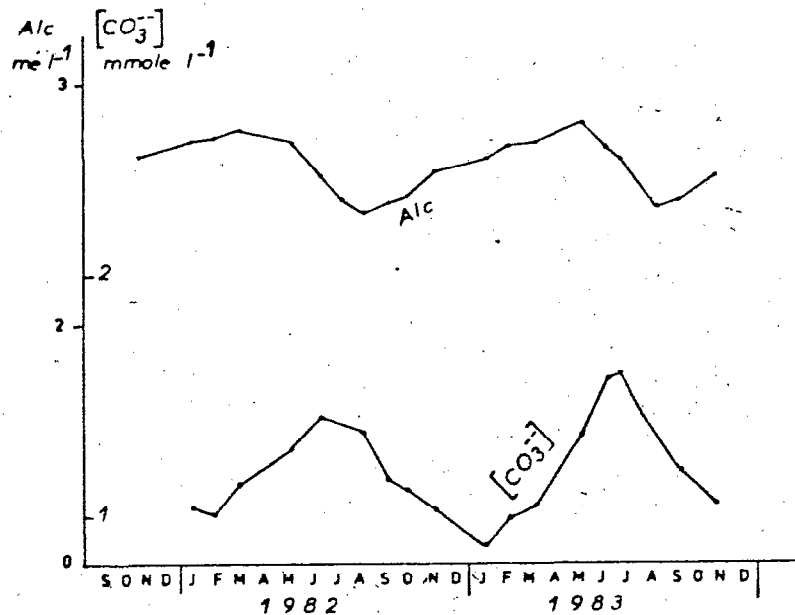
Les résultats indiquent qu'il n'y a pas de différence significative entre la surface et le fond, mais qu'il existe une évolution saisonnière nette de l'alcalinité (tableau 9.1 et figure 9.1). Aussi bien en 1982 qu'en 1983, l'alcalinité diminue d'avril (2,80 mé/1) à août (2,50 mé/1), assez rapidement, avant de reprendre progressivement sa valeur initiale. L'évolution de la concentration en carbonate est opposée à celle de l'alcalinité ; il en résulte une variation saisonnière bien marquée de CO_2 minéral dissous, avec un pH minimal en juin et juillet.

Il ne s'agit pas ici de déterminer la cause de ces variations saisonnières, mais de décrire les conditions dans lesquelles vivent le phytoplancton et les herbiers en 1982-83. On sait en effet qu'une élévation de température, une augmentation de salinité ou une diminution de p CO_2 par photosynthèse peuvent, individuellement, favoriser la précipitation de $\text{CO}_3 \text{Ca}$ et donc diminuer l'alcalinité ou le CO_2 total d'une eau de mer. Dans la lagune, ces trois facteurs présentent une évolution synchrone et peuvent donc intervenir.

Tableau 9.1 - Alcalinité : n = nombre d'échantillons,
 (A) = alcalinité moyenne en $\text{m}\cdot\text{l}^{-1}$
 (CO_3^{--}) = concentration moyenne en carbonates en $\text{m}\cdot\text{l}^{-1}$

DATE	n	(A)	(CO_3^{--})
06.11.81	5	2,70	-
13.01.82	6	2,76	1,03
17.02.82	6	2,77	1,00
17.03.82	6	2	1,13
20.05.82	8	2,75	1,27
29.06.82	5	2,61	1,40
23.07.82	5	2,52	-
26.08.82	11	2,46	1,34
21.09.82	9	2,50	1,15
13.10.82	12	2,53	1,11
22.11.82	7	2,63	1,02
28.01.83	9	2,69	0,88
23.02.83	9	2,74	0,99
23.03.83	5	2,75	1,04
24.05.83	7	2,83	1,33
23.06.83	5	2,73	1,56
05.07.83	6	2,69	1,59
25.08.83	5	2,48	-
23.09.83	6	2,51	1,17
04.11.83	5	2,61	1,04

Figure 9.1 - Evolution saisonnière de l'alcalinité et de la concentration en carbonates.
 Moyenne sur la radiale Jedaria - El Marsa.



L'amplitude de la variation (0,3 à 0,4 mé/1 pour l'alcalinité et 0,5 mmole/l pour le CO₂ total) implique des possibilités d'utilisation biologique différentes suivant les saisons sans toutefois que se manifestent des phénomènes de limitation de la photosynthèse.

La situation à El Bibane est assez semblable à celle qui est observée dans la lagune de Farwa, située de l'autre côté de la frontière tuniso-libyenne et riche en posidonies : l'alcalinité y varie de façon un peu plus prononcée, avec des valeurs qui encadrent les résultats obtenus ici : 2,38 à 3,01 mé/1 (M.R.C., 1982).

9.2 Azote et phosphore

Les analyses de l'azote et du phosphore ont été faites à l'Institut de Limnologie de Thonon (échantillons de juillet 1980, octobre et décembre 1981) et avec la participation du laboratoire de chimie de l'INSTOP pour les analyses de phosphore réactif des échantillons de 1982.

Les concentrations en phosphore réactif dissous ($\mu\text{g P/l}$) sont représentées figure 9.2. Les deux valeurs de limite de détection (1 et 0,1 $\mu\text{g/l}$) dépendent du spectrophotomètre en ordre de marche au moment du dosage. Quelques valeurs sont indiquées dans la figure sous forme de fraction. Il s'agit des concentrations en surface et au fond pour une même station.

Les concentrations de juillet 1980, d'octobre et décembre 1981 correspondent à la période de poussée du phytoplancton. Elles sont significativement supérieures aux valeurs trouvées en 1982 qui représentent l'état le plus habituel de la lagune, et sont peu propices à un développement important du phytoplancton.

Les dosages d'azote nitrique ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ exprimé en $\mu\text{g N/l}$) effectués sur les mêmes échantillons que le phosphore en juillet 1980, octobre et décembre 1981 sont tous inférieurs à 10 $\mu\text{g N/l}$ dans les eaux de surface. De même pour l'azote ammoniacal, inférieur à 1 $\mu\text{g N/l}$ en décembre 1981 (mais variable de 1 à 18 $\mu\text{g N/l}$ en octobre 1981).

L'eau de la lagune apparaît donc comme limitée en nutriments (azote et phosphore) dans son état actuel. Sa transparence, et l'extension des herbiers, pourraient être modifiées par l'introduction de substances nutritives.

A cet égard, l'influence des crues de l'oued Fessi doit être pris en compte, d'une part en ce qui concerne les éléments dissous, mais aussi les nutriments associés aux particules et pour lequel la sebkha Bou Jmel joue le rôle de bassin de décantation.

Figure 9.2 - Distribution du phosphore réactif dissous ($\mu\text{g P/l}$) dans la lagune El Bibane. Les fractions indiquent un échantillon de surface et un échantillon de fond pour une même station.

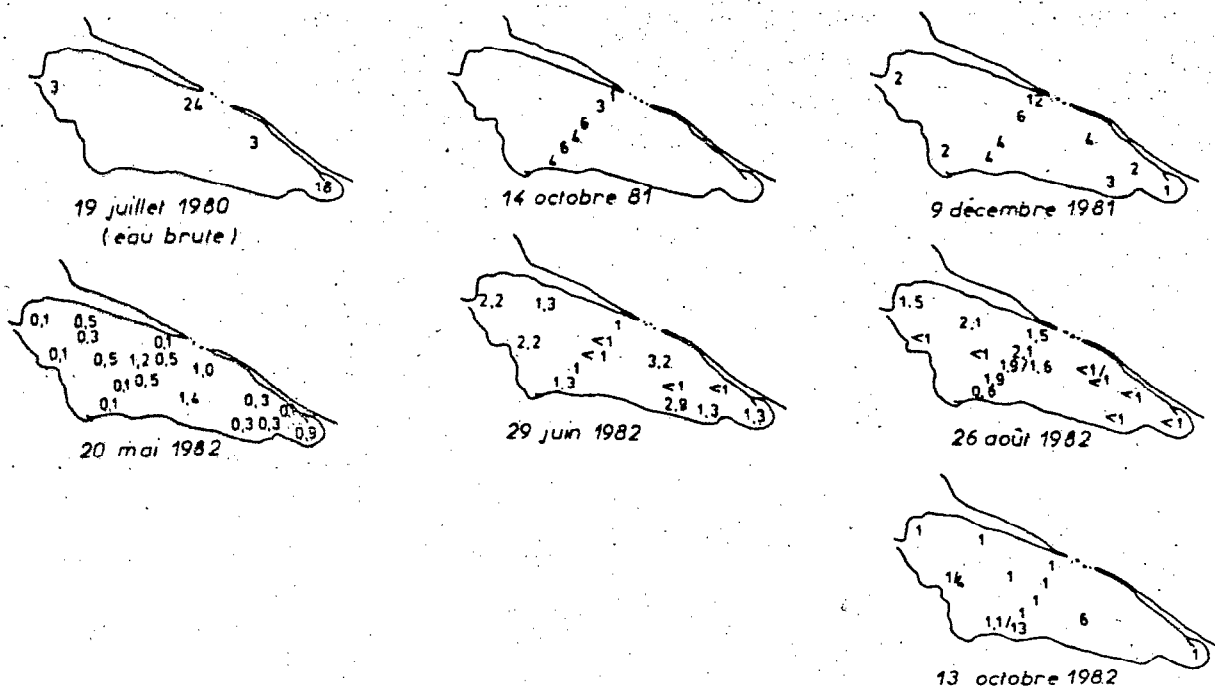
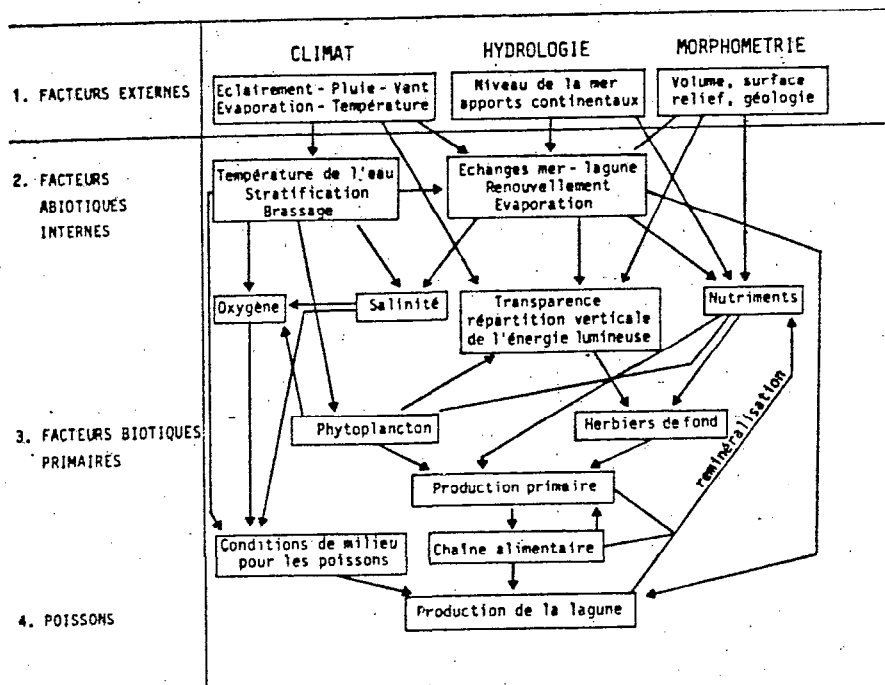


Figure 10.1 - Schéma des interactions entre les facteurs de l'hydroclimat et leur importance pour la production en poissons dans la lagune El Bibane.



10 - ÉLÉMENTS DU FONCTIONNEMENT DE LA LAGUNE

La lagune El Bibane doit être considérée comme un réseau d'interactions qui englobe également une partie, encore mal délimitée, de la mer.

Un schéma simplifié (figure 10.1) indique les principaux éléments à considérer suivant quatre niveaux. Les facteurs externes (niveau 1) peuvent être considérés comme les fonctions de forçage du modèle, d'où résultent directement les conditions physiques du milieu (niveau 2). Les conditions actuelles favorisent le développement des herbiers de fond (niveau 3) et la chaîne trophique qui conduit à la composition du peuplement poissons. Dans cet ensemble, peu d'éléments sont indépendants.

Après avoir décrit, dans les chapitres précédents, certains des caractères de l'hydroclimat de la lagune, nous pouvons examiner quelques unes des relations qui peuvent avoir une influence directe sur les conditions de milieu, en gardant comme objectif la production halieutique.

10.1 Bilan hydrique annuel

Les observations climatiques et hydrologiques permettent de définir l'ordre de grandeur relatif des principaux éléments du bilan hydrique et salin de la lagune.

Ce bilan peut s'écrire sous forme de deux équations, l'une pour l'eau et l'autre pour le sel.

Pour l'eau, le niveau moyen annuel restant constant, les apports, par les ruissellements et rivières V_R , par la pluie directement sur la lagune V_P , et les apports nets d'eau de mer V_M , sont égaux aux pertes par évaporation V_E . Dans cette première approche, nous négligeons les apports souterrains éventuels.

La pluie moyenne (1960-80) est de 228 mm par an, et les pluies des années civiles pour la période d'étude sont respectivement :

- 60 mm en 1981,
- 258 mm en 1982,
- 52 mm en 1983.

Les apports de l'oued Fessi sont mal connus, et estimés en moyenne à moins de $10 \cdot 10^6 \cdot m^3$ par an. La crue a été forte en novembre 1980, notable en octobre 1982 (où une salinité de 11 a été mesurée dans El Mekkhada le 29 octobre), mais nulle au cours de l'hiver 1981-82. Faute de données plus précises, la valeur hypothétique de $10 \cdot 10^6 \cdot m^3$ par an a été utilisée.

L'influence des sebkhas bordières n'a pas été prise en compte dans les bilans. Leur surface moyenne en eau est difficile à évaluer, mais faible relativement à la lagune. Elles interviennent donc peu dans le bilan hydrique, et les données manquent pour estimer leur effet sur le bilan salin.

L'évaporation a été calculée par la formule de Dalton de la forme :

$$E(\text{mm/mois}) = n \cdot K U_2 (e_{\text{eau}} - e_{\text{air}})$$

où n est le nombre de jours dans le mois,

U_2 le vent à 2 m ($m \cdot s^{-1}$),

e_{eau} la pression de vapeur d'eau saturante à la température de surface de l'eau moyenne mensuelle (mb),

e_{air} la moyenne mensuelle de la pression de vapeur d'eau de l'air à Jerba (mb),

K une constante.

Le vent U_8 mesuré à 8 m a été converti en vent à 2 m par

$$U_2 = 0,90 U_8 \text{ sur surface lisse, soit pour une surface non lisse du fait des vagues.}$$

$$U_2 = 0,85 U_8$$

Le coefficient K a reçu diverses valeurs dans la littérature, et dépend vraisemblablement du lieu considéré. La valeur de 0,13 qui a été appliquée ici a été déterminée expérimentalement par LINACRE et al. (1970) sur un lac de moyenne dimension et utilisée avec succès sur d'autres milieux (RIOU, 1975 ; POUYAUD, 1985).

Avec les valeurs moyennes mensuelles de U , e air et e eau du tableau 10.1, l'évaporation mensuelle a été calculée (tableau 10.1) en utilisant comme vent mensuel de janvier à juin 1981 les moyennes des mêmes mois pour 1982-83 (figure 10.2).

Les variations saisonnières sont sensibles, avec un minimum de 75 mm par mois en hiver et un maximum de 230 mm en été. L'évaporation annuelle calculée est

$$E = 1760 \text{ mm en 1982}$$

$$E = 1830 \text{ mm en 1983}$$

L'évaporation moyenne annuelle à long terme est donc estimée à 1800 mm. Cette valeur calculée dépend directement du coefficient $K = 0,13$ utilisé et peut être modifiée en conséquence si des études nouvelles permettent de mieux préciser la valeur réelle de l'évaporation dans les conditions d'El Bibane.

Le déficit hydrique, qui correspond à une entrée nette d'eau de mer est donc, pour une surface du plan d'eau de 230 km²,

$$V_M = V_E - V_P - V_R$$

soit

$$V_M = (414 - 52,4 - 10) \times 10^6 = 351.10^6 \text{ m}^3$$

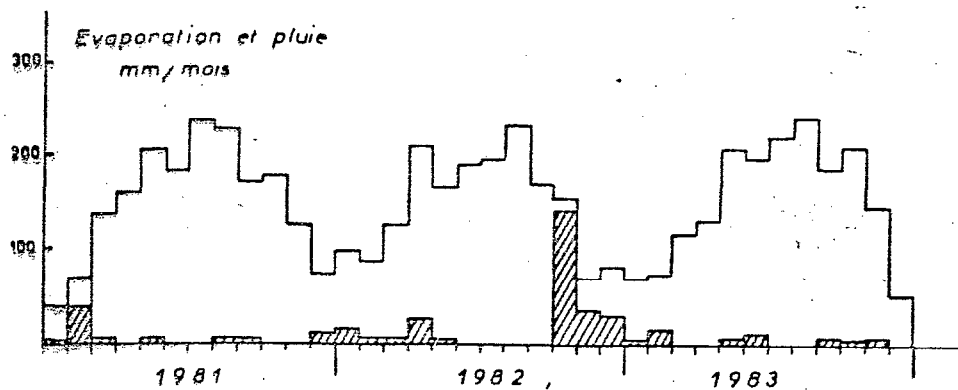
Ce volume est considérablement supérieur aux apports estimés de l'oued Fessi et indique l'importance prédominante de l'évaporation et des échanges avec la mer dans l'équilibre de la lagune. Ce volume ne représente par ailleurs qu'une fraction du volume total V_T qui transite annuellement entre mer et lagune. Nous pouvons estimer V_T à partir des observations sur les niveaux.

Les échanges entre mer et lagune résultent des marées et des variations apériodiques du niveau

Tableau 10.1 - Données moyennes mensuelles utilisées pour le bilan hydrique

	Date mois/an	1	2	3	4	5	6
	<u>1981</u>						
1 - Pluie à Zarzis (mm)	01	1	9,9	9,9	(460)	6,8	42
	02	36,9	14,0	11,9	(416)	12,0	70
2 - Pression de vapeur d'eau à Jerba (mb)	03	1,3	18,9	16,3	(520)	16,6	157
	04	0,6	22,7	18,9	(504)	19,5	159
	05	4,6	25,8	21,4	(534)	21,6	205
3 - Température de l'air à Zarbis (°C)	06	1,3	32,1	24,7	(478)	25,2	182
	07	0	33,6	26,2	(450)	26,0	235
	08	2,8	36,9	27,7	474	27,6	225
4 - Vent moyen journalier (km.d ⁻¹)	09	1,2	35,2	26,5	448	26,8	168
	10	1,5	32,6	23,9	378	25,5	177
5 - Température de l'eau (°C)	11	0	20,9	17,3	420	18,2	125
	12	3,9	15,7	14,7	401	13,7	72
6 - Evaporation mensuelle (mm)	<u>1981</u>						
	01	17,5	15,9	13,2	484	13,9	95
	02	6,2	16,4	13,9	435	14,4	83
	03	4,0	16,8	15,0	522	14,8	123
	04	23,6	17,7	18,6	576	20,2	208
	05	2,5	24,9	20,6	541	21,0	164
	06	0	30,4	26,0	484	24,3	188
	07	0	36,9	29,3	380	27,6	144
	08	0	40,1	-	416	29,0	232
	09	0	37,8	-	422	28,0	168
	10	140,9	29,8	-	500	24,0	150
	11	34,6	19,1	-	460	16,8	69
	12	28,4	14,7	-	511	12,7	82
	<u>1983</u>						
	01	2,0	14,0	-	436	12,0	68
	02	14,8	14,7	12,5	398	12,7	71
	03	0	16,4	-	519	14,4	116
	04	0,5	21,0	17,6	433	18,3	129
	05	3,8	24,9	20,6	527	21,0	205
	06	9,6	30,4	25,0	473	24,3	195
	07	0	36,7	26,7	379	27,5	218
	08	0	39,1	28,6	472	28,6	239
	09	6,0	34,2	25,7	430	26,3	185
	10	7,2	29,3	22,4	504	23,7	208
	11	8,3	23,1	-	427	19,8	145
	12	0	14,0	-	(609)	(12,0)	(51)

Figure 10.2 - Evaporation mensuelle calculée et pluie (en hachures).



Pour 705 marées dans l'année, avec un marnage lagunaire moyen de 3,26 cm, la hauteur annuelle cumulée d'eau entrant dans la lagune est de

$$h_1 = 705 \times 0,0326 = 22,98 \text{ m}$$

De même pour les variations apériodiques du niveau moyen quotidien dont l'augmentation cumulée h_2 a été mesurée pour 1982 et 1983.

$$h_2 = 4,75 \text{ m en 1982}$$

$$h_2 = 5,12 \text{ m en 1983}$$

soit en moyenne $h_2 = 4,93 \text{ m}$

Le volume d'eau total qui entre dans la lagune est donc :

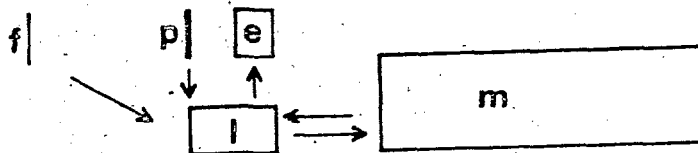
$$V_T = (h_1 + h_2) \times 230.10^6 = 6420.10^6 \text{ m}^3$$

Un volume annuel égal à 6,9 fois le volume de la lagune transite donc dans chaque sens dans la passe. Le taux de renouvellement correspondant à ces flux serait alors de 6,9 par an (figure 10.3).

Figure 10,3 - Ordre de grandeur relatif des éléments du bilan hydrique :

I = volume de la lagune, f = apports moyens de l'oued Fessi, p = pluies sur la lagune, e = évaporation, m = volumes transitant dans la passe.

Les surfaces du schéma sont proportionnelles aux volumes mis en jeu.



Mais seule une fraction de ce volume s'échange réellement avec l'eau lagunaire dans la région centrale, le reste étant de l'eau de mer qui entre et ressort avec la marée en se mélangeant très peu. Si nous considérons les quantités de sel mises en jeu, le taux de renouvellement est sensiblement moindre que celui qui peut être évalué par les calculs basés sur les volumes d'eau.

10.2 Bilan salin

L'équilibre salin interannuel est maintenu par les échanges d'eau entre mer et lagune ; l'eau qui ressort est plus salée que l'eau qui entre et compense ainsi la concentration par évaporation.

La salinité moyenne au large est de 38 (BRANDHORST, 1977). Devant El Bibane, quelques mesures effectuées à 5 km de la côte indiquent une salinité de 38 en hiver et au printemps, et de 39 à 39,5 en été-automne. Une valeur de 38,5 peut donc être utilisée pour caractériser l'eau de mer devant El Bibane. Pour l'eau lagunaire, une salinité moyenne annuelle de 43 à 44 face à

la passe nous permet d'évaluer entre 4 et 5 la différence Δ de salinité de part et d'autre de la passe.

Nous avons vu qu'un volume net V_M entre chaque année dans la lagune pour compenser les pertes hydriques. Pour

$$V_M = 351.10^6 \text{ m}^3 \text{ et } S = 38,5$$

le stock M_1 de sel importé est donc $M_1 = 13513.10^6 \text{ kg}$.
(en faisant l'approximation 1 litre = 1 kg d'eau de mer).

Selon la différence de salinité entre mer et lagune, le volume V nécessaire pour évacuer M_1 est :

$$\begin{array}{ll} \text{pour } \Delta = 4 & V = 2700.10^6 \text{ m}^3 \\ \text{pour } \Delta = 5 & V = 3380.10^6 \text{ m}^3 \end{array}$$

Le volume d'eau réellement échangé, ou volume utile pour l'équilibre salin de la lagune, est donc de 40 à 50 % du volume qui transite dans la passe.

Le taux de renouvellement correspondant est de 2,9 par an.

A l'échelle saisonnière, ce taux de renouvellement, peu variable en volume, évolue proportionnellement à la différence de salinité entre la mer et l'eau lagunaire dans la région de la passe. Cette évolution ne suffit pas à assurer un équilibre et, à la différence des bilans annuels, les bilans mensuels ne sont pas équilibrés et se traduisent par les variations observées de la salinité.

La figure 7.1 permet de définir les mois au cours desquels la salinité de la zone centrale cesse de croître : (novembre 1981, octobre 1982, novembre 1983) ou cesse de décroître (mars - avril 1982, mars 1983). Ces équilibres correspondent à un déficit hydrique (évaporation moins pluie et rivière) de l'ordre de 150 mm par mois (figure 10.2). Cette valeur concorde bien avec l'actuelle stabilité interannuelle de la salinité de la lagune où le déficit annuel est de 1600 mm/an.

Dans l'état actuel de la passe, à un déficit hydrique de 150 mm par mois correspond une salinité d'équilibre.

10.3 Les caractéristiques hydrauliques de la passe

Les observations effectuées en 1981-83 peuvent être utilisées pour une modélisation hydrodynamique de la lagune. En particulier, il est possible de définir les caractéristiques hydrauliques de la passe par un modèle de dimension zéro qui peut être défini à partir des observations de 1983 sur les niveaux en mer et en lagune. L'application d'un tel modèle porte notamment sur les effets qu'une modification des caractéristiques de l'ensemble barrage de pêche-passe pourrait avoir sur le taux de renouvellement de l'eau.

L'équation se résume à représenter le flux instantané Q par

$$Q = S \frac{dhb}{dt}$$

et

$$Q = \pm C_q A (2g | h_m - h_b |)^{1/2}$$

où S est la surface de la lagune, h_m et h_b les niveaux de la mer et de la lagune, A la section de la passe et C_q son coefficient de transfert.

Les données nécessaires sont décrites chapitre 3 et permettent d'évaluer $C_q A$, la section efficace de la passe, dans les différentes circonstances possibles.

10.4 La turbulence de l'eau

Le vent et la morphométrie d'une lagune déterminent, avec les courants de marée, les conditions de turbulence dans la masse d'eau. Indépendamment, et en complément, des observations in situ sur la structure de la colonne d'eau, il est donc possible de déterminer pour la lagune les grandes zones où la turbulence créée par les vagues a plus ou moins de chances d'affecter tout ou partie de la colonne d'eau. Il s'agit ici d'une agitation de l'eau à courte période, égale à la période des vagues et de l'ordre de 10 secondes, et non de la turbulence à plus long terme induite par les courants.

Méthodes

La technique de prévision des vagues (US Army, 1962) utilise la notion de course du vent, F, et la vitesse du vent U. La course du vent pour un point de la lagune est calculée en traçant, à partir de ce point, 7 droites à 6° d'intervalle de part et d'autre de la direction du vent. Ces lignes, qui font un angle α_i avec le vent, coupent la côte à une distance r_i de l'origine. La course se calcule par

$$F = \frac{\sum r_i \cos^2 \alpha_i}{\sum \cos \alpha_i}$$

En multipliant le nombre de points étudiés, il est possible de tracer les isolignes de la course du vent, qui déterminent les régions de la lagune où un vent de direction donnée a une action égale sur l'eau. Connaissant U et F, on peut calculer la longueur d'onde théorique λ des vagues, et donc la profondeur $Z_{mix} = \lambda/2$ à laquelle se fait sentir leur action (SMITH et SINCLAIR, 1972). Par superposition des cartes de Z_{mix} et des profondeurs réelles, les zones où la turbulence atteint le fond apparaissent.

Isolignes de course du vent

Pour El Bibane, trois directions principales du vent ont été retenues : NW et W pour l'hiver, et une direction de 60° (approximativement ENE) pour l'été. Les isolignes de course sont dessinées figure 10.4 où sont également représentés les points qui ont servi au calcul (15 en été, 44 pour chaque vent d'hiver).

En été, les isolignes sont sensiblement parallèles à l'axe de la lagune, la moitié continentale de la lagune étant la plus exposée à l'agitation par les vagues. En hiver, la zone ouest de la lagune est relativement calme (course inférieure à 6000 m) par rapport à l'est où les régions les plus exposées sont soit le sud par vent de NW, soit le nord par vent d'W.

Certaines caractéristiques des côtes apparaissent ainsi facilement :

- slob El Gharbi, peu agité en toutes saisons. C'est le long de ce slob que se développe l'algue encroûtante Néogoniolithion notarsii qui forme un bourrelet récifal.

- slob el Chergui, soumis à des vagues notables en hiver par vent d'Ouest. Les courants de dérive littorale se manifestent par la forme du delta intérieur de la passe, déporté vers l'Est, et la langue de sable de Ras Ouden Bourri. A noter que ces caractéristiques des côtes sont très semblables à celles que l'on observe dans la lagune de Nador (Maroc) soumise à un vent dominant d'orientation relative semblable.

- côte Sud, exposée aux vagues sur toute sa longueur en été, mais inégalement en hiver : à l'Ouest d'El Marsa la côte est plus calme qu'à l'Est où l'agitation est maximale par vent de Nord-Ouest.

La turbulence au fond

La zone de mélange Z_{mix} , calculée d'après Smith et Sinclair (1972) a été reportée sur la carte bathymétrique pour chaque point de calcul. On a ainsi défini, pour chaque direction du vent, les régions où $Z_{mix} \geq Z$ pour des vents de 5, 7 et $9,5 \text{ m s}^{-1}$. Les différentes zones sont représentées figure 10.5. En réalité, lorsque $Z < Z_{mix}$, la hauteur des vagues devient inférieure à la hauteur calculée. La course efficace du vent est donc modifiée par le relief des fonds, et des zones où le fond est relativement calme peuvent exister dans la lagune, en plus de celles qui sont délimitées, notamment par vent d'hiver ; c'est probablement le cas de la région profonde ($Z > 6 \text{ m}$) située au Sud-Est de la passe.

En cas de tempête d'hiver ($U = 9,5 \text{ m s}^{-1}$) seule l'extrémité Ouest de la lagune n'est pas brassée jusqu'au fond par l'action des vagues. Cette zone est plus étendue par vent fort ($U = 7 \text{ m s}^{-1}$) mais reste limitée à la région Ouest de la lagune et inclut probablement la région la plus profonde de la partie Est. Par vent moyen d'Ouest ou de Nord-Ouest, on peut remarquer que ce sont surtout les fonds de la zone méridionale Est de la lagune qui sont soumis à une action sensible, entre Bou Guernine et Ras Touila. C'est aussi la zone de la lagune où les herbiers sont les plus clairsemés.

Si nous considérons l'ensemble de l'année, avec les trois vents dominants, toute la région côtière Sud, jusqu'à une profondeur de 3 m est soumise à une turbulence au fond notable et fréquente. Cette région peut être considérée comme littorale.

Il y a bien sûr, interaction entre les caractères de turbulence définis à partir de critères abiotiques, et les caractères biologiques et sédimentologiques de la lagune.

Les résultats présentés ici sont à confronter aux observations de KEER (1976) et MEDHIOUB (1979) pour les sédiments, de GUELORGET et al (1982) et ZAOUALI (1982) pour le benthos, ou DENIZOT et al (1981) pour les récifs calcaires.

Figure 10.4 - La course du vent sur la lagune.
Isolignes de course pour trois directions dominantes du vent ;
Ouest, Nord-Ouest en hiver, vent du 60° en été (course du vent en km).

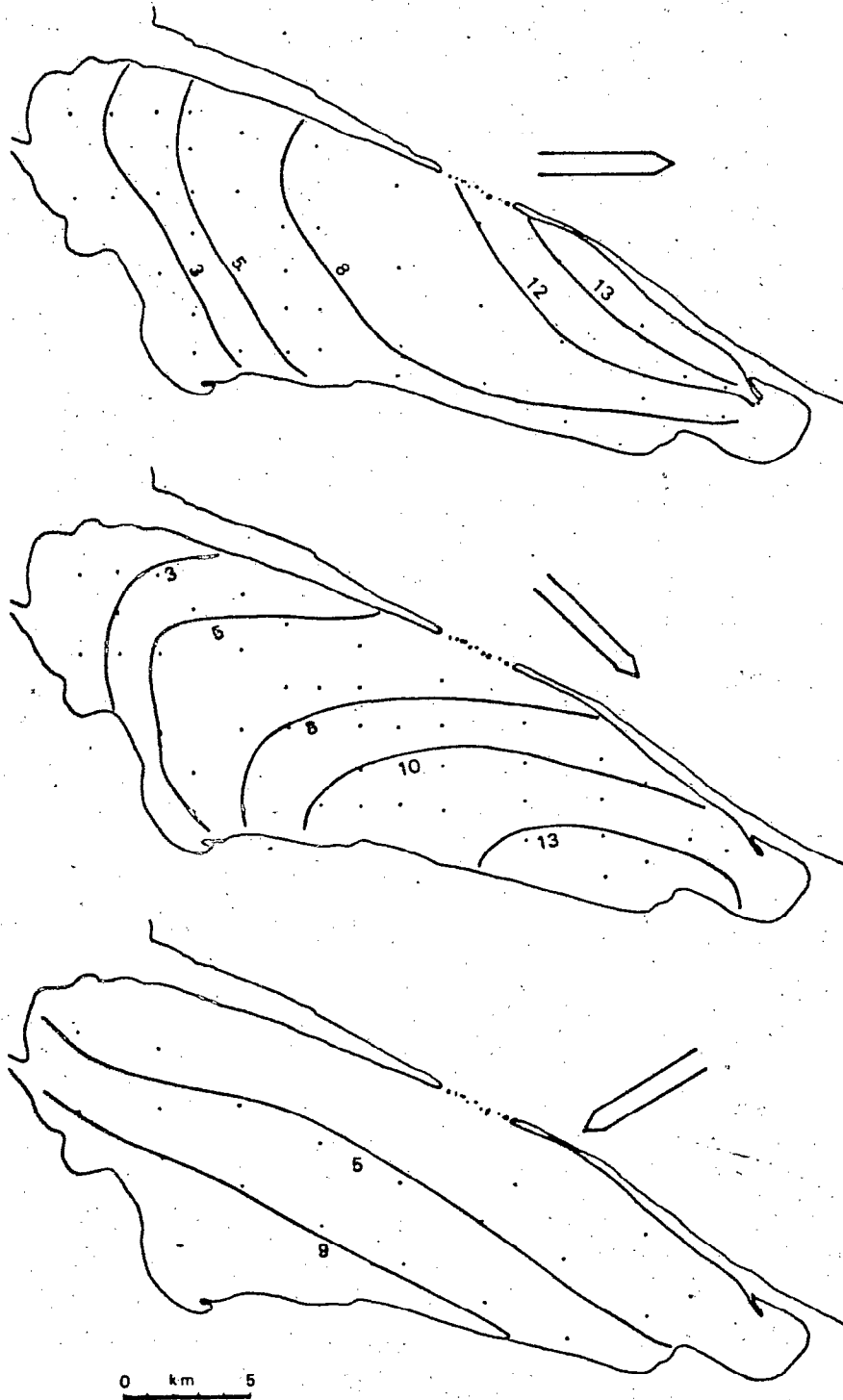
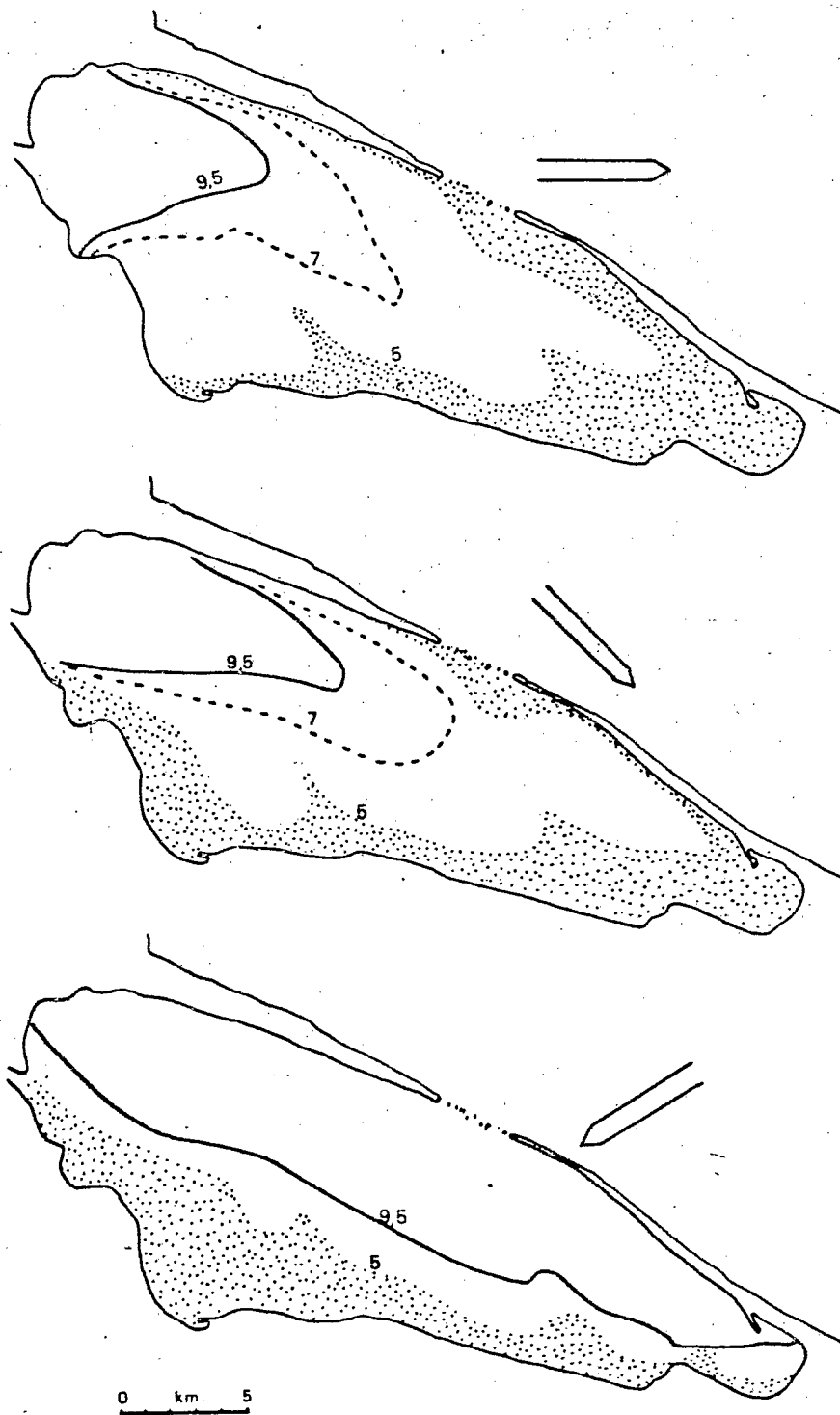


Figure 10.5 - Turbulence au fond pour les trois directions dominantes et pour des forces croissantes du vent.

En pointillé, zone agitée par vent de 5 m.s^{-1} .

En tireté, limite de la zone agitée par vent de 7 m.s^{-1} et

en trait plein, limite d'action d'un vent de $9,5 \text{ m.s}^{-1}$.



10.5 L'éclairement au fond

La faible biomasse du phytoplancton en regard de celle des herbiers indique qu'une fraction importante de la production primaire, qui est à la base de la chaîne alimentaire, se fait au fond de la lagune. La transparence de l'eau, dont les valeurs ont été décrites chapitre 4, est donc un élément important du fonctionnement du système. Nous pouvons essayer de chercher quels sont les facteurs qui influent sur la transparence, et quelles en sont les conséquences au niveau du fond.

La répartition dans le temps et dans l'espace de la transparence (figures 4.4 à 4.6) montre que celle-ci ne suit généralement pas une zonation directement liée à l'un des paramètres physiques ou chimiques de la lagune. Des masses d'eau claires ou turbides peuvent pénétrer avec les marées et délimiter dans la région de la passe une zone de transparence différente du reste de la lagune. Bien que parfois très net, ce phénomène est cependant assez rare. Le plus souvent, la transparence est du même ordre de grandeur dans toute la lagune à un moment donné, et la variabilité est essentiellement une variabilité dans le temps.

Les faibles transparences peuvent être associées soit à un développement du phytoplancton (coïncidant aussi avec une coloration de l'eau par la matière organique dissoute), soit à des particules minérales en suspension.

Les transparences observées d'août à décembre 1981 sont attribuées au phytoplancton et à la coloration organique de l'eau.

Les autres fluctuations sont à relier à la présence de suspensions minérales. Celles-ci peuvent provenir de l'extérieur de la lagune, apportées par l'oued Fessi ou directement par le vent : KEER (1976) attribue une origine continentale à l'essentiel des sables du sédiment superficiel de la lagune. Les particules peuvent aussi provenir de la lagune elle-même par remodelage des côtes ou turbulence au fond sous l'action des vagues et des courants littoraux. Pluies, crues et vent sont alors les causes des variations de turbidité. Les deltas, de part et d'autre de la passe indiquent que des échanges de particules entre la mer et la lagune sont également importants.

Les faibles transparences de 1981 (hormis la période août-décembre 1981) peuvent ainsi être une conséquence de la forte crue de l'oued Fessi en novembre 1980, crue qui est arrivée directement dans la lagune, emportant la route Zarzis - Ben Gardane, à la différence de celle de novembre 1982, moins forte, où la sebcha Bou Jmel a servi de bassin de décantation. Les particules fines sont ensuite remises en suspension par la turbulence au fond sous l'action du vent, jusqu'à ce qu'elles sédimentent dans les régions les plus calmes (figures 10.6a et 10.6b).

L'action du vent sur le fond peut être mise en évidence en comparant la transparence moyenne sur la radiale Jedaria - El Marsa avec le vent des quelques jours précédant la mesure. Sur le tableau 10.2 sont notés les transparences (le signe > indique que sur plusieurs stations le disque était visible au fond) et les vents journaliers moyens supérieurs à 650 km.j^{-1} ($7,5 \text{ m.s}^{-1}$) au cours du jour J de mesure et des jours précédents. Les vents notés forts avant l'installation de l'anémomètre sont estimés supérieurs à 650 km.j^{-1} . Les transparences faibles relativement à chaque période, sont le plus souvent observées après des périodes de vent.

Figure 10.6 a - Eclairage au fond, exprimé en pourcentage de l'éclairage incident en surface.
Les signes > indiquent un pourcentage supérieur à 20 quand le disque de Secchi est visible au fond.

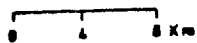
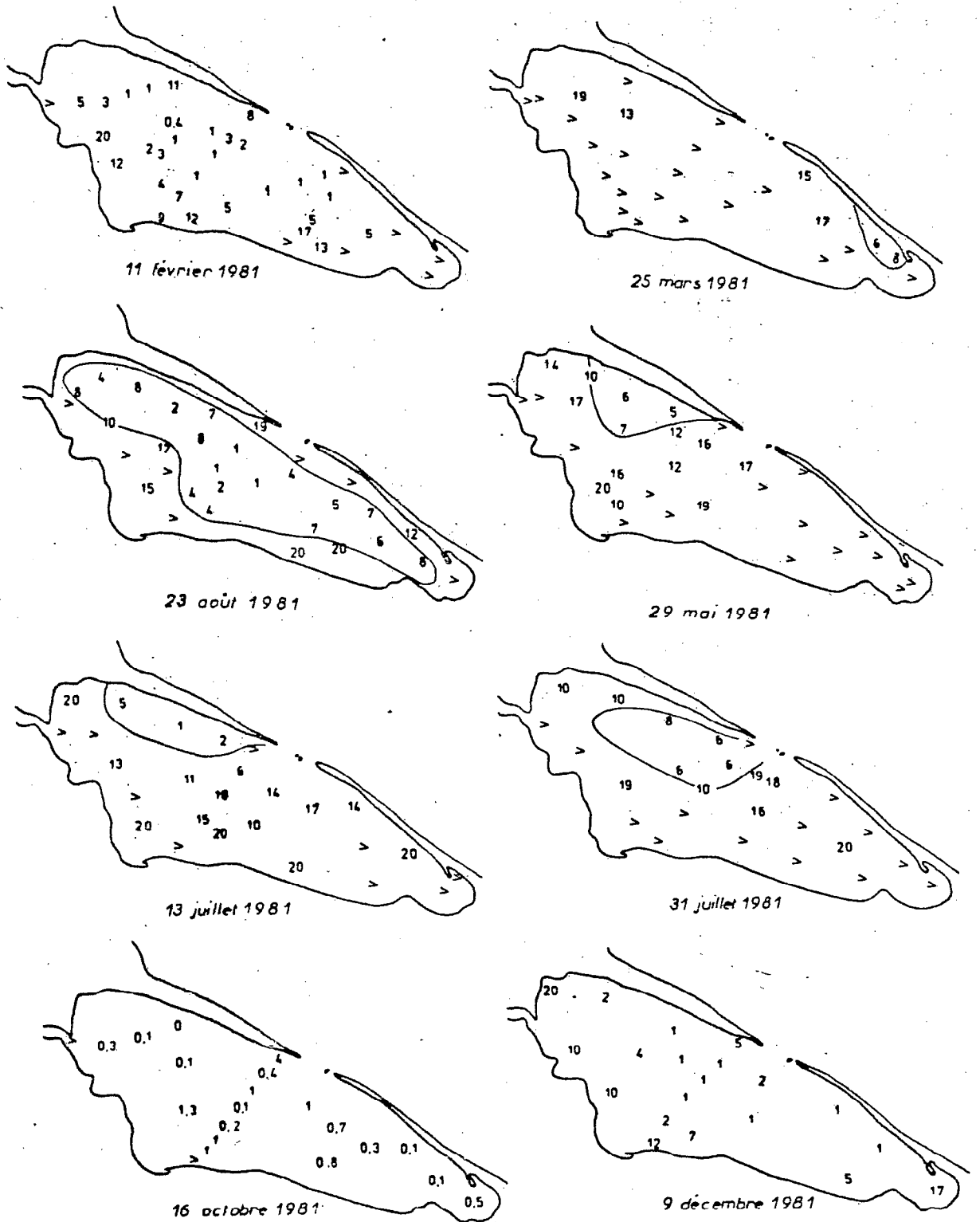


Figure 10.6b - Eclaircissement au fond, exprimé en pourcentage de l'éclaircissement incident en surface. Les signes > indiquent un pourcentage supérieur à 20 quand le disque de Secchi est visible au fond.

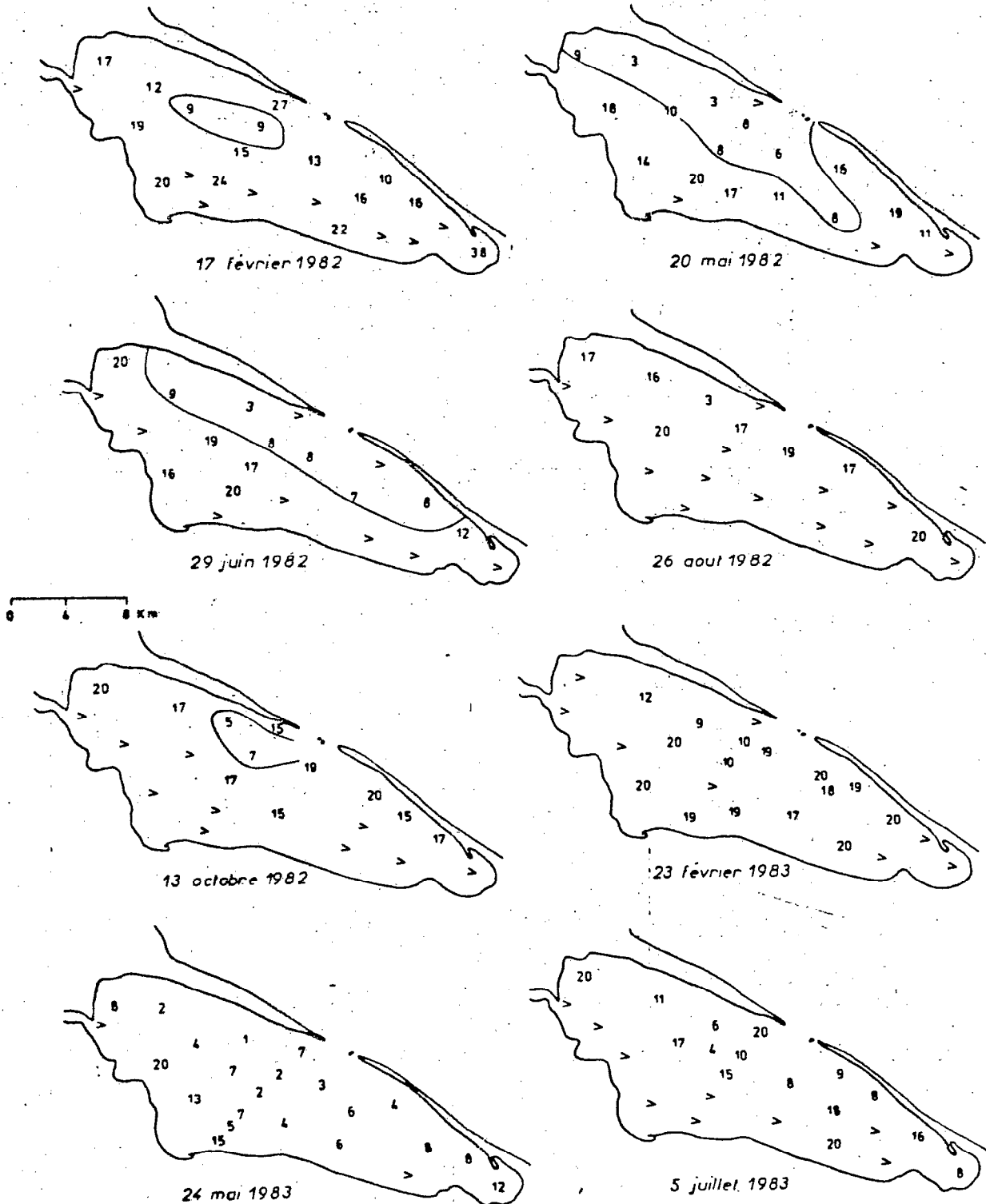


Tableau 10.2 - Transparence sur la radiale et vent supérieur à 650 km.d⁻¹ à El Bibane (voir texte).

Date	DS (dm)	Vent (km.d ⁻¹)					Remarques
		J	J-1	J-2	J-3	J-4	
<u>1981</u>							
05 novembre	25						
11 février	20						
04 mars	40						
25 mars	50						
23 avril	22	-	fort	fort	-	-	tempête à (J-1)
17 mai	34	faible	fort	fort	-	-	
28 mai	40						
16 juin	41						
13 juillet	37	-	fort	fort	fort	-	
31 juillet	36						
20 août	29)
14 septembre	16)
14 octobre	18)
16 octobre	18						(
06 novembre	17)
25 novembre	25)
08 décembre	19					941)	
<u>1982</u>							
13 janvier	44						
17 février	50						
17 mars	40						
20 mai	35	-	729	791	682	-	
29 juin	41						
23 juillet	48						
26 août	50						
21 septembre	50						
13 octobre	39	-	-	683	-	-	
22 novembre	34	-	-	-	-	912	Vent 1356 à(J-5)
<u>1983</u>							
28 janvier	39						
23 février	40						
23 mars	40						
24 mai	27	-	-	921	-	-	
23 juin	35	-	-	698	698	-	
05 juillet	40						
09 juillet	50						
25 août	45	-	-	654	-	-	
23 septembre	50						
04 novembre	50	-	-	-	-	726	

Il faut également noter que des coups de vent brefs mais forts, au cours d'une journée par ailleurs calme, n'apparaissent pas dans ce tableau.

L'éclairement au fond, à la profondeur Z, peut être calculé en pourcentage de l'éclairement incident en utilisant la relation (chapitre 4)

$$K = 1,62 (DS)^{-1}$$

et

$$E \% = 100 \exp (-K.Z)$$

si l'on néglige les réflexions en surface.

La répartition des éclairagements au fond est représentée figure 10.6 pour différentes séries de mesures, le signe > indiquant que le disque était visible au fond et que plus de 20 % de l'énergie lumineuse incidente parvenait au fond (sauf pour les mesures du 17 février 1982 où les quantités réelles de lumière au fond ont été mesurées). Des transparences de l'ordre de 2 m se traduisent par un éclairage au fond inférieur à 10 % dans l'ensemble de la lagune. Les valeurs les plus faibles, en octobre 1981 avec DS compris entre 1 et 1,5 m, sont presque toutes inférieures à 1 % de l'énergie incidente. Dans ces conditions, la photosynthèse ne compense plus les pertes par respiration et le bilan en oxygène de l'herbier est négatif. Ce qui se traduit par une décomposition de l'herbier en automne, mais pourrait empêcher son développement si de telles conditions prédominaient au printemps. Une oxygénation convenable de toute la colonne d'eau, durant la saison chaude, suppose un herbier développé, donc une transparence suffisante. Cet herbier contribue lui-même à amortir la turbulence au fond et favorise le maintien d'une transparence convenable. Les aménagements éventuels de la lagune doivent tenir compte de ces équilibres.

CONCLUSION

L'observation de la lagune pendant trois années permet de définir l'hydroclimat et les caractères essentiels de cette masse d'eau avec une sécurité plus grande que par le passé. Beaucoup des variables examinées sont en effet dépendantes de ce climat méditerranéen dont la variabilité interannuelle est bien connue. Les cycles annuels successifs sont rarement semblables et, même en trois ans, nous ne pouvons prétendre avoir décrit toutes les situations possibles.

Le schéma de fonctionnement qui a été présenté montre la relation entre les différentes mailles de la chaîne trophique et permet d'évaluer le sens de variation des différentes variables en fonction d'aménagements ou de modifications diverses.

Les échanges avec la mer conditionnent le bilan hydrique et salin et dépendent étroitement des caractéristiques hydrauliques de l'ensemble constitué par le barrage de pêche, la passe principale et les obstacles érigés sur les passes secondaires. Les herbiers de fond jouent un rôle essentiel dans le réseau trophique ; leur productivité est largement dépendante de la transparence de l'eau, qui, elle-même, réagit aux apports terrigènes du bassin versant, actuellement retenus en grande partie dans la sebkha Bou Jmel et en amont de la route Zarziz - Ben Gardane.

REFERENCES

- BRANDHORST (W.) - 1977 - Les conditions de milieu au large des côtes tunisiennes.
Bull. Inst. Natl. Tech. Océanogr. Pêche Salammbô, 4, 2-4 : 129-220.
- DENIZOT (M.), GUELORGET (O.), MASSIEUX (M.), PERTHUISOT (J.P.) - 1981 -
Une remarque construction récifale à Mélobésiée dans une lagune sursalée
du Sud-Est tunisien (La Bahiret El Biban). Cryptogamie Algologie, France,
2, 4 : 253-266.
- CHAMPAGNE - PHILIPPE (M.), GUEVEL (D.), FROUIN (R.) - 1982 -
Etude du front de Malte, à partir des données de télédétection et de mesures
in situ. Annales hydrographiques, France, 5ème sér. vol. 10, n° 757 : 65-98.
- GUELORGET (O.), FRISONI (G.F.), PERTHUISOT (J.P.) - 1982 - Contribution à l'étude biologique
de la Bahiret El-Biban, lagune du Sud-Est tunisien. Mém. Soc. Géol. Fr. N.S.
144 : 173-186.
- INSTITUT NATIONAL DE METEOROLOGIE - 1982-1983 - Bull. climatologique mensuel, I.N.M., Tunis
- ISTITUTO IDROGRAFICO DELLE MARINA - 1982 - Tavole di marea. Mediterraneo Mar. Rosso et delle
correnti di marea, 1983. ©
- KEER (F.R.) - 1976 - The sedimentary framework of a desert coastal lagoon, Bahiret El Biban
Tunisia. M.S. Thesis, Duke Univ. Durham. N. Carol. USA, 93 p.
- LEMOALLE (J.), VIDY (G.) - 1984 - Conditions de milieu et pêche dans la lagune hypersaline
d'El Bibane (Tunisie) in Kapetsky JM et Lasserre G. (eds), Management of
coastal lagoon fisheries. Aménagement des pêches dans les lagunes côtières.
Stud. Rev. GFCM/ Etud. Rev. CGPM, 61 Vol. 1, pp. 175-195.
- LEMOALLE (J.), VIDY (G.), FRANC (J.) - 1984 - Rapport d'étude sur la lagune El Bibane et le lac
Ichkeul. Ministère de l'Agriculture, Tunis. 356 p. + annexes, multigr.
- LINACRE (E.T.), HICKS (B.B.), SAINTY (G.R.), GRAUZE (G.) - 1970 -
The evaporation from a swamp. Agricultural Meteorology 7 : 375-386.
- MARINE RESEARCH CENTER - 1982 - Environmental conditions of the Farwa Lagoon during 1981.
Marine Research Center, Tripoli 3 : 23-75.
- MANEN (L.), HERAUD (G.), HANUSSE (M.F.) - 1890 - Reconnaissance hydrographique de la
Mer. N° 723, Imp. Nationale, Paris, 274 p.
- MEDHIOUB (K.) - 1979 - La Bahiret El Biban. Etude géochimique et sédimentologique d'une
lagune du Sud-Est tunisien.
Trav. Lab. Géologie. Presses de l'École Normale Supérieure 13 : 150 p.
- POUYAUD (B.) - 1985 - Contribution à l'évaluation de l'évaporation des nappes d'eau libre
en climat tropical sec. Exemples du lac de Bam et de la mare d'Oursi
(Burkina-Faso) du lac Tchad et d'acudes du Nord-Est brésilien.
Thèse Doctorat d'Etat, Paris Sud, 254 p.
- RIOU (C.) - 1975 - La détermination pratique de l'évaporation. Application à l'Afrique Centrale.
Mémoires ORSTOM, n° 80 : 236 p.
- UNESCO - 1981 - Tenth report of the joint panel on oceanographic tables and standards.
Sidney, Canada, 1-5 september 1980. UNESCO Tech. Papers Marine Science 36 : 25 p.
- SMITH (I.R.), SINCLAIR (I.J.) - 1972 - Deep water waves in lakes. Freshwat. Biol. 2,4, 387-399.
- THORNTON (S.E.), PILKEY (O.M.), LYNTS (G.W.) - 1978 - A lagoonal crustose coralline
algal microridge : Bahiret El Biban, Tunisia.
J. Sedim. Petrol. 48, 3, 743-750.
- U.S. ARMY - 1962 - Waves in inland reservoirs. Tech. memo. Beach Eros. Bd. US, N° 132
- ZAOUALI (J.) - 1982 - La mer des Bibans (Tunisie méridionale) : aperçu général et problèmes
de la pêche. Archs Inst. Pasteur, Tunis, 59, 4, 541-559.
- ZAOUALI (J.) - 1982 - Bionomie benthique de la mer des Bibans : zone centrale et
bassin oriental. Oceanologica Acta, 1982. Actes Symp. Internat. sur les lagunes
côtières, SCOR/ IABO/ UNESCO, Bordeaux, sept. 1981 : 457-461.