

***ETUDE D'ASSAINISSEMENT, DE VALORISATION ET
D'AMENAGEMENT DE LA SEBKHA DE SOLIMAN***

***Phase 1 : Bilan diagnostic et élaboration des scénarios
d'assainissement et de valorisation***

Rapport Final

Novembre 2002

SOMMAIRE

CHAPITRE 1. AVANT-PROPOS	4
1. Introduction	5
2. Localisation de la Sebkha de Soliman	5
3. Mandat et objectifs	6
4. Portée de l'étude	6
5. Contenu du présent rapport	6
CHAPITRE 2. SITUATION ACTUELLE DE LA SEBKHA	9
1. Milieu physique	10
1.1 Caractéristiques climatiques	10
1.1.1 Température	10
1.1.2 Vents	10
1.1.3 Humidité relative	10
1.1.4 Évaporation	10
1.1.5 Pluviométrie	11
1.2 Caractéristiques hydrologiques	13
1.2.1 Le réseau hydrographique	13
1.2.2 L'hydrosystème de l'oued El Bey	13
1.2.3 Bassins versants de bordure	19
1.3 Les apports solides	19
1.4 Salinité de l'eau	20
1.5 Caractéristiques hydrauliques de la Sebkha	21
1.5.1 Caractéristiques topographiques	21
1.5.2 Loi de stockage	21
1.5.3 Variation du niveau d'eau dans la Sebkha	21
1.6 Océanographie	23
1.6.1 Fluctuations du niveau de la mer	23
1.6.2 Les courants marins	24
1.6.3 Dynamique sédimentaire	25
1.7 Caractéristiques géologiques et géomorphologiques	25
1.7.1 Géologie	25
1.7.2 Géomorphologie	29
1.8 Caractéristiques géotechniques	32
1.8.1 Consistance de la campagne	32
1.8.2 Résultat de la campagne	32
1.8.3 Autres données géotechniques disponibles	34
1.8.4 Synthèse des données géotechniques	34
1.9 Caractéristiques hydrogéologiques	40
1.9.1 Les formations aquifères de la nappe de Grombalia	40
1.9.2 Alimentation de l'aquifère de la nappe de Grombalia	40
1.9.3 Ressources et exploitation	42
1.9.4 Fluctuation piézométrique	42
1.9.5 Qualité des eaux de la nappe de Grombalia	42
1.10 Caractéristiques chimiques des eaux et des sédiments de la Sebkha	46
1.10.1 Cadre général	46
1.10.2 Campagnes de prospection et de mesure	46

1.10.3	Caractéristiques chimiques du sédiment	48
1.10.4	Qualité des eaux de la Sebkha	51
1.10.5	Eau de mer	57
1.10.6	Conclusions	58
2.	Valeurs biologiques et écologiques de la Sebkha	59
2.1	La flore terrestre de la Sebkha de Soliman	59
2.1.1	Introduction	59
2.1.2	Communautés végétales	59
2.1.3	Statut des espèces	61
2.1.4	Dynamique végétale et nuisances	61
2.2	La Faune terrestre de la Sebkha de Soliman	61
2.2.1	L'héropétofaune et les amphibiens	62
2.2.2	L'avifaune	62
2.3	La flore et la faune aquatique de la Sebkha de Soliman	65
2.4	La flore et la faune marine	65
2.4.1	Caractéristiques générales des trois stations	66
3.	Population et occupation des sols	70
3.1	La ville de Soliman	70
3.1.1	Démographie et habitat	70
3.1.2	Les activités économiques	71
3.1.3	Les infrastructures de la zone	73
3.1.4	Les contraintes du site urbanisable	75
3.1.5	Le plan d'aménagement urbain de la ville de Soliman	75
3.1.6	La ville de Soliman dans le SDA du Grand Tunis	76
3.2	La zone de la Sebkha	76
3.2.1	Occupation du sol	76
3.2.2	Tendances de l'urbanisation - impact des nouveaux projets dans la zone	77
3.2.3	Aspects fonciers	78
4.	Valeurs paysagères du site de la Sebkha de Soliman	81
4.1	Les vues	81
4.2	Lecture paysagère	82
4.3	L'appropriation des lieux par l'Homme	83
4.4	Devenir du site	84

CHAPITRE 1. AVANT-PROPOS

1. INTRODUCTION

La Sebkhah de Soliman également appelée Sebkhah el Melah est une zone humide inondée présentant un plan d'eau d'une superficie globale d'environ 225 hectares.

Cette Sebkhah se situe au sud ouest de la péninsule du Cap Bon (Gouvernorat de Nabeul) à la « frontière » du Gouvernorat de Ben Arous, immédiatement à l'est de Soliman Plage qui est une extension balnéaire de la ville de Soliman située à peu de distance du site, à l'intérieur des terres. Elle est limitée au nord par une dune consolidée qui la sépare de la plage puis de la mer, à l'ouest par la route qui mène de Soliman à Soliman Plage, à l'ouest et au sud par des terrains agricoles et au sud ouest par une vaste étendue de « hmadha » dans laquelle vient s'épandre Oued El Bey.

Cette zone humide draine les eaux pluviales du bassin versant de Oued El Bey dont la superficie est d'environ 460 km². Grâce à ces apports mais également du fait d'importants apports d'eaux traitées par la STEP de Soliman, la Sebkhah est en eau durant toute l'année.

La pérennité de ce plan d'eau côtier est un aspect qui se fait rare sur le littoral tunisien de manière générale et au niveau du Cap Bon en particulier, les actions entreprises dans le cadre de la stratégie nationale de mobilisation des eaux ayant contribué à une profonde modification de ces écosystèmes notamment du fait de l'établissement de barrages barrant l'écoulement naturel des principaux cours d'eau du pays. Ainsi, la Sebkhah de Soliman se retrouve avec la Sebkhah de Korba comme les uniques plans d'eaux côtiers pérennes de la péninsule. Ce statut particulier du, pour les deux zones humides, aux apports artificiels d'eaux résiduaires ou traitées leur confère comme le démontre la présente étude une valeur écologique très importante notamment pour les oiseaux d'eau migrateurs qui se concentrent dans ces zones en effectifs importants pour de nombreuses espèces dont quelques espèces vulnérables et menacées. Cet aspect à lui seul justifie la mise en avant des impératifs de protection spécifiques à ce type de milieu.

Cet écosystème entretenu par l'action de l'homme sur le plan hydrologique reste menacé par une pression urbaine :

- L'extension de la zone touristique de Bordj Cedria exerce une pression foncière latente sur le site et plus particulièrement sur le secteur dunaire qui sépare la Sebkhah de la mer.
- La chasse cause des effets perturbateurs sur les populations d'oiseaux d'eau qui s'établissent régulièrement sur une des rares zones humides côtières du Cap Bon qui les accueillent en nombre important.

L'avantage de la pérennité des apports est controversé par une qualité médiocre de ces eaux dues principalement à une importante charge des rejets d'effluents déversés dans Oued El Bey (rejets industriels) ou dans la Sebkhah proprement dite (eaux à la sortie de l'ancienne STEP de Soliman).

Il conviendra de noter que cette Sebkhah n'est pas épargnée par la synonymie avec « dépotoir », puisqu'on rencontrera sur cet espace la décharge municipale qui reçoit les déchets domestiques de la ville mais également des déchets des industries avoisinantes. On rencontrera également des tas de déchets de construction de taille variable immédiatement sur ses berges.

Les qualités écologiques et paysagères de cette zone située à proximité de la capitale, le voisinage du Cap Bon et de ses multiples et diverses zones naturelles préservées, militent en faveur de l'intégration de cette zone humide dans un réseau régional d'aires protégées côtières qui viendrait renforcer les mesures instituées par l'Etat pour la préservation des espaces naturels et de la biodiversité.

2. LOCALISATION DE LA SEBKHA DE SOLIMAN

La Sebkhah de Soliman ou Sebkhah el Melah se situe au Nord de la ville de Soliman. Elle est bordée par Soliman Plage à l'ouest, par une dune consolidée au nord, par des terres agricoles au nord-est, à l'est et au sud-est et par une sansouire au sud ouest. Cette zone humide est alimentée en eau douce par les eaux de ruissellement provenant d'un vaste bassin versant mais également par les rejets d'eau traitées par la STEP de Soliman. Cette Sebkhah communique avec la mer à travers un grau situé au nord-ouest qui sert surtout de déversoir mais qui permet également pendant les fortes tempêtes l'entrée d'eaux marines. Du fait d'apports suffisants, cette Sebkhah est en permanence en eau, ce qui constitue de plus en plus une exception pour les zones humides côtières tunisiennes dont un certain nombre est privé des apports d'eaux douces par l'établissement de barrages sur les cours d'eau qui les alimentent. Située au sud du petit golfe de Tunis, la zone côtière voisine est sujette à un important phénomène d'érosion qui a considérablement réduit les plages sableuses. Malgré ce phénomène, la vocation balnéaire de la zone n'est pas freinée puisque d'importants projets touristiques et résidentiels sont programmés à l'ouest de la zone.

3. MANDAT ET OBJECTIFS

Cette étude rentre dans le cadre de la stratégie établie par le MEAT et confiée à l'APAL pour la mise en œuvre d'un programme de réhabilitation des zones humides littorales. Ce programme vise la sauvegarde ou le rétablissement de l'équilibre des écosystèmes des zones humides afin qu'elles continuent à jouer leurs rôles et contribuer au développement socio-économique de l'ensemble de la frange littorale du pays.

Les zones humides tunisiennes sont des espaces occupés une partie de l'année par une étendue d'eau peu profonde, dans lesquelles de nombreuses espèces de plantes et d'animaux s'y abritent. On pense généralement à tort que ce sont des milieux impropres et inutiles. Bien au contraire, les milieux humides sont les reins de l'environnement. Leur rôle consiste à filtrer et épurer l'eau des oueds de leurs bassins versant comme nos propres reins filtrent notre sang.

La première tranche du programme de l'APAL, concerne les Sebkhass d'Ariana, de Mahdia, de Kélibia, de Korba, de Sijoumi et de Soliman.

C'est dans ce cadre que l'APAL a mandaté le groupement de bureaux d'études GEOIDD, CETA et BETBEL, pour la réalisation d'une étude intégrée portant sur l'assainissement, la valorisation et l'aménagement de la Sebkhass de Soliman.

4. PORTEE DE L'ETUDE

La présente étude se déroulera en trois phases :

- l'objectif de la première phase est d'effectuer un diagnostic exhaustif du périmètre de l'étude, ce qui devrait permettre d'identifier les caractéristiques, problématiques, contraintes et potentialités des milieux naturel et humain. La seconde étape de cette phase consistera à élaborer des scénarios de réhabilitation dans lesquels seront présentées les mesures de protection, d'aménagement et de valorisation qui découlent du contexte général analysé et étudié lors de la 1ère étape ;
- la deuxième phase consistera en l'élaboration du dossier APD du scénario choisi parmi ceux élaborés lors de la première phase et de l'étude de faisabilité technico-économique ainsi qu'un rapport sur les mesures institutionnelles d'accompagnement ;
- la troisième phase sera consacrée à l'établissement de l'étude d'exécution accompagné d'une maquette. Cette phase ainsi que l'étude seront ponctuées par l'élaboration du dossier d'appel d'offres pour l'exécution des travaux.

5. CONTENU DU PRESENT RAPPORT

Ce rapport consigne les résultats obtenus au terme de la première Phase de l'étude, laquelle est divisée, tel que spécifié dans les termes de référence du projet, en deux parties :

- une évaluation exhaustive (diagnostic) de l'état actuel de la Sebkhass ;
- l'élaboration des scénarios d'assainissement et de valorisation de la zone.

Le diagnostic a consisté en premier lieu en une reconnaissance générale du site effectuée par les experts de l'équipe d'étude, cette reconnaissance s'est effectuée parallèlement à une série d'entretiens et d'enquêtes effectuées auprès des parties prenantes (institutions, populations, usagers et opérateurs économiques). Ceci a permis de mieux cerner les contextes naturels et humains et les enjeux spécifiques à la zone. Après une recherche exhaustive auprès de diverses sources d'information, le périmètre général de l'étude et le périmètre d'intervention ont été délimités. Simultanément, diverses campagnes de reconnaissance préconisées ont été entreprises, en l'occurrence les relevés topographiques et bathymétriques de la Sebkhass et de la frange marine adjacente, ainsi qu'une reconnaissance générale de la géologie, de l'hydrologie et de l'hydrogéologie du site. Une campagne de mesures et d'échantillonnage a également été réalisée afin de déterminer la qualité des eaux et des sédiments et de caractériser les divers biotopes rencontrés, autant au niveau de la Sebkhass qu'en mer. Enfin, une campagne géotechnique a été effectuée sur la Sebkhass et ses berges. Dans un autre volet, une enquête foncière et parcellaire a été entreprise, complétée par une identification des aménagements et des activités. Suite à une réunion subséquente de concertation entre les différents experts de l'équipe, un certain nombre de scénarios de réhabilitation a été identifié en tenant compte des contraintes et potentialités relevées au cours du diagnostic. Les variantes retenues suite à l'application des critères d'exclusion ont alors fait l'objet d'une étude plus poussée.

Figure 1

Figure 2

CHAPITRE 2. SITUATION ACTUELLE DE LA SEBKHA

1. MILIEU PHYSIQUE

1.1 Caractéristiques climatiques

1.1.1 Température

La température moyenne annuelle est assez élevée. Elle se situe entre 18 et 19°C, avec une amplitude des maximales et des minimales comprise entre 27,4°C et 11,1°C. A l'échelle mensuelle, le mois le plus froid est le mois de janvier avec une moyenne de 11,1°C à Grombalia. Le mois le plus chaud est le mois d'août avec 27,4°C à Grombalia.

(Station de Grombalia – source INM)

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moy. an
Moyenne	24,2	20,1	15,6	12,1	11,1	11,8	14,1	16,7	19,9	24,5	27,0	27,4	18,7

Les étés sont très chauds, les maxima moyens sont supérieurs à 30°C. Les hivers sont doux, les minima moyens se situent entre 7 et 8°C.

(Station de Grombalia – source INM)

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Maximum	29,8	24,7	19,6	15,5	14,5	15,8	18,5	21,1	25,1	29,8	32,9	33,0
Minimum	19,6	15,5	11,7	8,8	7,8	7,9	9,7	12,4	14,7	19,1	21,2	21,8

1.1.2 Vents

La région est caractérisée par environ 356 jours ventés, et seulement 9 jours de calme. Les directions dominantes sont : 110 jours de direction nord-ouest, 65 jours de direction ouest, 45 jours de direction nord, et 40 jours de direction sud-ouest. Les vents de direction sud-est sont surtout les vents d'été.

Le tableau suivant donne la répartition mensuelle des vents par direction et par force :

(Station de Grombalia – source INM)

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Vent le plus fréquent	ESE	NW	NW	NW	SW	NW	NW	SE	WE	NNE	NE	ESE
Vent le plus fort	NW	NW	WNW	NNW	WSW	WNW	NW	NW	S	NW	NW	NNW

La vitesse peut atteindre 30 m/s, mais en général elle ne dépasse pas 10m/s. Le vent de composante Nord-Ouest est dominant (en terme de vitesse et de fréquence) surtout en saison froide. De plus, les vents qui viennent de la mer activent généralement le phénomène de l'évaporation. Ceux les plus desséchants sont les vents qui soufflent du secteur ouest et secondairement les vents du secteur sud .

1.1.3 Humidité relative

L'humidité relative à l'échelle annuelle comme à l'échelle saisonnière varie légèrement et les valeurs moyennes ne dépassent pas les 70%. Toutefois, l'humidité relative dépend surtout de la température, et de la continentalité, et par conséquent de l'influence directe de la mer. Elle augmente considérablement pendant les temps orageux, mais chute brusquement par le biais des temps de sirocco. Pendant les périodes très humides elle peut dépasser 90%, mais elle peut diminuer jusqu'à 20%, quand une masse d'air saharien couvre la région. Au cours de la journée, le maximum d'humidité relative se situe entre 18h et 6h, le minimum entre 13h et 17h.

(Station de Grombalia – source INM)

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moyenne
Humidité Relative (%)	72	76	75	75	76	73	73	74	74	70	69	70	73
Min. (%)	55	61	60	60	59	56	57	57	58	52	51	54	57
Max. (%)	89	91	90	91	91	90	90	91	90	88	86	87	89

1.1.4 Évaporation

Les mesures d'évaporation proviennent des 2 barrages situés sur les affluents de l'oued El Bey (Masri et Tahouna).

Barrage		S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
MASRI	Moy.	184,5	118,8	77,0	59,0	54,7	57,6	86,9	115,0	164,2	224,1	275,0	252,0	1669,0
	Max.	329,4	251,8	143,0	102,3	127,7	103,7	136,8	157,8	246,7	275,7	346,4	329,7	2388,2
	Min.	110,1	64,5	46,8	20,1	20,0	3,5	0	71,0	84,0	145,0	203,0	192,7	1397,0
TAHOUNA	Moy.	160,5	110,3	65,1	54,1	49,1	48,6	75,6	88,8	124,0	185,9	236,3	221,1	1423,8
	Max.	233,9	215,3	132,1	127,2	133,0	125,7	138,8	133,6	178,9	241,4	302,4	276,5	1860,6
	Min.	110,8	45,6	0	27,4	26,1	24,5	43,8	48,6	80,8	87,9	164,7	156,2	1127,4

1.1.5 Pluviométrie

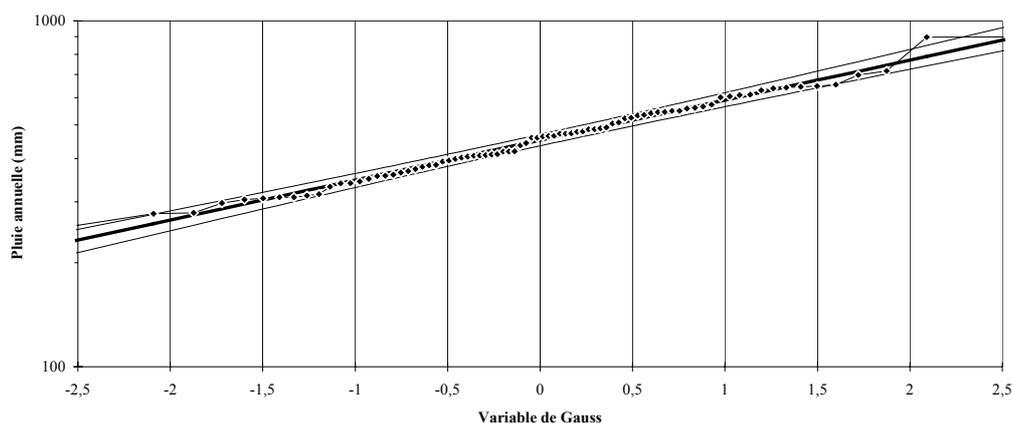
Les pluies sont amenées par des dépressions de vent d'est ou sud-est et se chargent d'humidité au-dessus de la Méditerranée orientale. Les orages sont limités en superficie, souvent formés d'un noyau très restreint à forte intensité, suivi d'une traîne qui peut intéresser une superficie beaucoup plus vaste. Les pluies donnant lieu à un ruissellement important sont en général à caractère orageux.

1.1.5.1 Pluie annuelle

Station pluviométrique	Code Station	Nombre d'années	P _{annuelle} (mm)	Altitude (m)	Latitude (grades)	Longitude (grades)
Soliman	46 925	56	462,8	12	40 77 00	9 06 00

La pluviométrie annuelle calculée sur une période d'observation de 56 ans à la station de Soliman est de : $P = 463$ mm. Le nombre de jours de pluies est en moyenne égal à 86 jours.

D'une manière générale, le Cap Bon est souvent sous l'influence méditerranéenne, rarement sous l'influence steppique, et exceptionnellement sous l'influence saharienne. Les oscillations des pluies annuelles autour de la moyenne marquent donc ce régime pluviométrique, qui est ainsi caractérisé par une relative régularité inter-annuelle. L'ajustement statistique de la loi log-normale à la distribution expérimentale des pluies annuelles, permet d'établir les valeurs quantiles suivantes :



Période	Années sèches					Médiane	Années humides				
	100 ans	50 ans	20 ans	10 ans	5 ans	T=2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
P(mm)	244	262	292	322	362	452	566	636	701	781	840

L'apport pluviométrique médian, soit 452 mm, est presque équivalent à l'apport pluviométrique moyen, 463 mm, et dénote une certaine régularité des pluies annuelles. Si on définit l'année sèche, comme l'année qui présente un déficit de 40% par rapport à la moyenne, elle se produit une année tous les 20 ans.

1.1.5.2 La pluviométrie mensuelle et saisonnière

Les pluies mensuelles et saisonnières mesurées à la station de Soliman sont consignées dans le tableau suivant :

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
Pourcentage %	8,4	13,5	12,7	13,9	13,9	10,9	9,2	7,8	4,7	2,3	0,7	1,9	100
P(mm)	39	63	59	65	65	50	43	36	22	10	3	9	463
	161			180			101			22			463

L'automne est très pluvieux, mais l'hiver est plus pluvieux et plus régulier. En automne les pluies sont convectives, orageuses et brèves. Elles proviennent du secteur Ouest, en atteignant le continent, et déversent abondamment. En revanche en hiver les pluies sont d'origine cyclonique, et par conséquent plus durables et plus abondantes. Au printemps on enregistre une baisse assez sensible des apports pluviométriques, même si les pluies restent fréquentes et relativement orageuses. C'est pendant l'été uniquement qu'on observe un apport insignifiant, sinon sec.

1.1.5.3 Les pluies journalières maximales

La région est connue par la fréquence des pluies orageuses exceptionnelles. Ci dessous l'historique des enregistrements des pluies journalières supérieures ou voisines à 100mm, enregistrées à la station de Grombalia entre 1902/03 et 1992/93 :

Maximum des Pluies Annuelles - Station Grombalia-DRE-42949

Année	Total annuel P (mm)	Max journalier P _j (mm)
1902/03	565,8	162,4
03/04	613,8	102,5
07/08	624,3	116,0
11/12	497,9	160
23/24	603,7	122,3
33/34	557,8	120,0
35/36	400,6	111,5
50/51	418,2	223,0
71/72	660,1	104,4
73/74	662,1	117,6
83/84	594,0	182,5
86/87	731,4	197,3
1991/92	621,3	108,5

La répartition statistique des pluies journalières à Grombalia, représentée sur le graphique donné ci-après, suit une loi de Gumbel dont la formulation s'écrit comme suit :

- Variable de Gumbel : $y(T) = -\text{Log} [-\text{Log} (1-1/T)]$;
- Pluie journalière de période de retour T : $P(T) = a [y(T) - y(0)]$, avec T la période de retour de la pluie en ans, et P(T) pluie journalière max en mm.

P(T) est une droite qui peut s'écrire sous la forme suivante :

$$T \leq 10 \text{ ans} : P(T) = P(10) [(y(T) - y(0)) / (y(10) - y(0))]]$$

$$T > 10 \text{ ans} : P(T) = P(10) + [(P(10) - P(100)) / (y(10) - y(100))] (y(T) - y(10))$$

avec $y(0) = -2,0$, $y(10) = 2,25$ et $y(100) = 4,6$

$P(10) = 114 \text{ mm}$ et $P(100) = 230 \text{ mm}$.

Ainsi en a :

$$T \leq 10 \text{ ans} : P(T) = 26,82 y(T) + 53,65$$

$$T > 10 \text{ ans} : P(T) = 49,36 y(T) + 2,94$$

Le tableau suivant résume les valeurs calculées de la pluviométrie journalière maximale pour différentes périodes de retour :

T en ans	2	5	10	20	50	100
P (T) en mm	63	94	114	148	195	230

1.1.5.4 Pluviographie

Pour les régions à régime de pluies cycloniques, ce qui est le cas pour la zone d'étude, la loi intensité - durée - fréquence peut être définie par la relation suivante :

$$I(T) = At^B, \text{ avec}$$

$I(T)$: Intensité moyenne en mm / h de l'averse de période de retour T (ans) et de durée (t) en heures

- **A** : Coefficient Régional déterminé par la relation : ($A = a P(T)$, avec $a = 1/3$ et $P(T)$ la pluie journalière maximale en mm, de période de retour T).
- **B** : coefficient pris égal à $-0,60$.

Les coefficients A et B sont fournis dans le tableau suivant :

T (ans)	2	5	10	20	50	100
A	21,0	31,3	38,0	51,0	68,0	80,7
B	- 0,60	- 0,60	- 0,60	- 0,60	- 0,60	- 0,60

1.2 Caractéristiques hydrologiques

1.2.1 Le réseau hydrographique

Le réseau hydrographique de la Sebkh Soliman est formé principalement par l'Oued El Bey, dont le cône de déjection se situe à l'entrée de la zone marécageuse à l'Ouest de la Sebkh, et par des écoulements diffus de faible importance provenant des flancs des collines de bordure au Sud et à l'Est de la Sebkh.

Le réseau hydrographique a été modifié en 1958 puis en 1961. Antérieurement l'oued El Bey et l'oued Djorf avaient des lits parallèles qui venaient buter contre le cordon dunaire de Soliman. Ces dunes fossiles barraient partiellement l'écoulement naturel des eaux vers la mer et en rejetaient une partie à l'Ouest vers l'Oued Soltane.

En 1958, le passage de l'oued El Bey à travers le cordon dunaire près de Soliman a été aménagé permettant le drainage de la plaine de Grombalia.

En 1961-62 des travaux importants ont modifié le système d'écoulement dans la plaine. En effet en plus de l'ouverture du cordon dunaire à Soliman, favorisant une évacuation directe vers le golfe de Tunis, l'oued El Bey a été endigué et recalibré, avec modification du tracé des affluents rive gauche au niveau de Grombalia (oued Djorf et Tahouna). D'autre part l'endiguement des affluents Masr, El Menzah et Sidi Toumi avait pour but de favoriser l'écoulement vers l'exutoire, des eaux, provenant des piedmonts qui bordent la plaine, et d'éviter ainsi l'épandage des crues dans les parties basses et hydromorphes de la plaine.

En 1968 et 1971 deux barrages ont été réalisés respectivement sur les deux affluents de l'Oued El Bey : l'Oued Masri et l'Oued Tahouna qui contrôlent respectivement 40 Km² et 13 Km².

La configuration générale du réseau hydrographique est donnée dans la figure 5 ci-après.

1.2.2 L'hydrosystème de l'oued El Bey

a) Système hydrographique

L'oued El Bey, draine le plus grand des bassins versants du cap bon soit 475 Km² dont 464 km² contrôlés par une station limnigraphique installée au niveau du pont de la route N°41. Il est situé à la base de la péninsule du Cap Bon, et il est orienté Sud-Est/Nord-Ouest. L'oued El Bey draine sur son parcours la plaine de Grombalia-Soliman, mais se distingue par une grande asymétrie topographique.

- La rive droite : c'est une zone relativement plate qui s'élève progressivement du Nord-Ouest au Sud-Est de la cote de 14 m jusqu'à la cote 210 m. La superficie de cette partie du bassin versant est de 319 km², soit 67% de la superficie totale du bassin versant limité à l'aval par la Sebkh.

Figure 3 - Réseau hydrographique

- La rive gauche : elle est principalement constituée par un relief accidenté à sommets assez élevés correspondant à la limite Nord de la Dorsale. L'altitude varie de 346 m (jebel Es-Sraà à 636 m jebel Sola). La superficie de cette partie du bassin versant est de 156 km², soit 33% de la superficie totale du bassin versant.

Ces reliefs, auxquels s'opposent de l'autre côté de la plaine, les contreforts du jebel Abderahman (300 à 400 m), font du bassin versant de l'oued El Bey un passage très ouvert aux vents de nord-ouest, générateurs de pluies, qui abordent la plaine à Soliman et transitent jusqu'au Golfe de Hammamet sans rencontrer d'obstacles.

Cette disposition un peu particulière en « couloir » canalise aussi bien les dépressions d'origine Nord-Ouest, que celles venant du Sud-Est.

La rive gauche constitue dans les deux cas un effet orographique aux pluies, générateur d'un gradient pluviométrique qui grimpe avec l'altitude.

L'Oued El Bey collecte ainsi les eaux des régions périphériques à la plaine et les véhiculent jusqu'au golfe de Tunis en transitant par la Sebkh de Soliman. Ainsi l'essentiel du réseau hydrographique est constitué par l'oued El Bey et ses principaux affluents Oueds Masri et Tahouna contrôlés par des barrages collinaires.

b) Caractéristiques morphométriques

Les principales caractéristiques morphométriques du bassin versant de l'oued El Bey, limité au niveau de la Sebkh, et de ses deux affluents limités aux barrages, sont résumées dans le tableau suivant :

			El Bey à la Station Pt route N°41	Masri au barrage	Tahouna au barrage
Surface du bassin versant	(S)	Km ²	464,0	40,0	13,0
Périmètre du bassin versant	(P)	Km	109,0	31,0	14,6
Altitude maximale	(H _{max})	m	636	644	644
Altitude à 5% de la surface	(H _{5%})	m	338	480	550
Altitude moyenne	(H _{mov})	m	325	392	417
Altitude médiane	(H _{med})	m	74	276	362
Altitude à 95% de la surface	(H _{95%})	m	23	163	225
Altitude minimale	(H _{min})	m	14	140	190
Indice de compacité	K _c		1,43	1,38	1,14
Longueur du rectangle équivalent	L	km	43,98	12,2	4,23
Largeur du rectangle équivalent	l	km	10,55	3,3	3,07
Indice de pente globale	I _g	m/km	7,2	26	77
Dénivelée spécifique	D _s	m	155	164	278
Classe de relief	R		R ₆	R ₆	R ₆ - fort

c) Les écoulements

Une seule station hydrométrique est en service dans la zone, il s'agit de la station en aval de l'oued El Bey au pont route N41 de Soliman, dont les coordonnées géographiques sont :

Station hydrométrique	Code Station	Nombre d'années	Altitude (m)	Latitude (grades)	Longitude (grades)
O. El Bey - Pt Rte N41	1484200150	30	14	09 65 00	40 76 20

Cette station est en service depuis 1968, soit consécutivement à la construction des barrages Masri (1968) et Tahouna (1971).

Les bilans des écoulements suivants s'appliqueront au bassin versant de l'oued El Bey limité à la station pont route N°41 sans tenir compte des surfaces contrôlées par les barrages Masri et Tahouna, soit un bassin versant de superficie égale à 411 km².

c-1- Apports moyens

Le bilan des apports annuels et mensuels moyens, observés à la station, s'établit comme suit :

Bassin versant	Apport annuel moyen (Mm ³)	Module moyen (m ³ /s)	Débit spécifique (l/s/km ²)	Pluie moyenne spatiale (mm)	Lame écoulée (mm)	Quotient d'écoulement (%)	Déficit d'écoulement (mm)
411 km ²	10,8	0,34	0,83	450	26	5.8	424

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
% d'apport	3%	10%	10%	18%	16%	22%	16%	2%	1%	1%	0%	1%
Q _{mois} /Q _{année}	1.05	3.51	3.51	6.32	5.62	7.72	5.62	0.70	0.35	0.35	0.00	0.3

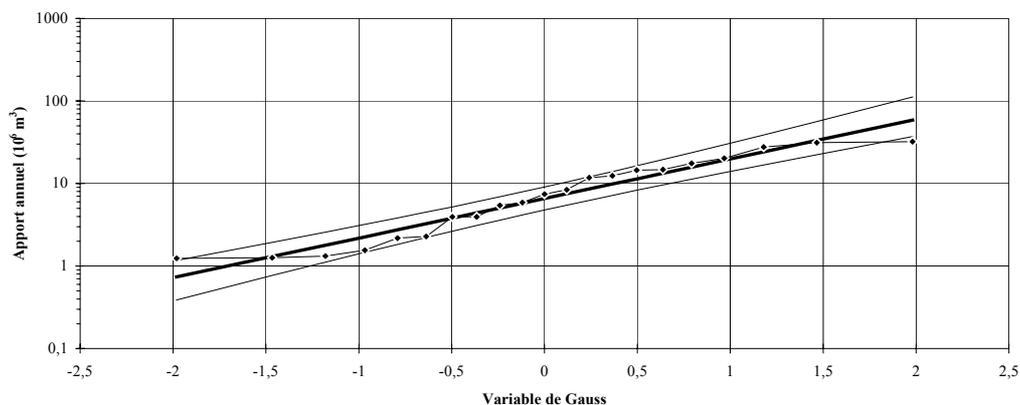
Les apports du bassin résiduaire aval, couvrant 11 Km² à faible relief, peuvent être marginalisés. Ainsi, nous retenons comme apport inter annuel moyen au niveau de la Sebkh $E_a = 10,8 \text{ Mm}^3$. Cette valeur comprend le ruissellement de crue et les écoulements de base.

Pour une année l'hydraulicité moyenne (P de l'ordre de 450 mm), les ruissellements de base se situent à environ 3 à 3,5 Mm³, soit de l'ordre de 100l/s en fictif continu.

Nous pouvons donc déduire que les apports inter annuels de crue au niveau de la Sebkh seront de l'ordre de $E_c = 7,5 \text{ Mm}^3$.

La répartition statistique des apports annuels suit une loi log – Normale représentée par le graphique donné ci-après :

Ajustement à une loi Log-normale



Les valeurs des apports annuels de période de retour T sont consignées dans le tableau suivant :

T	Années sèches					Médiane T=2 ans	Années humides				
	100 ans	50 ans	20 ans	10 ans	5 ans		5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Apports Mm³ (411 km²)	0,5	0,7	1,0	1,6	2,6	6,5	16,4	26,5	39,4	61,5	82,8

d) Etude des crues de l'Oued El Bey

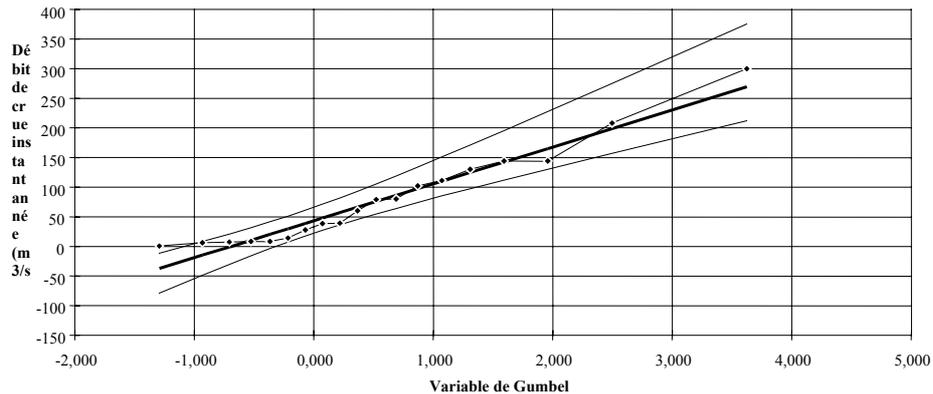
d-1- Débits de crues

Les débits de crue mesurés à la station pont route n°41, se limitent à la capacité de transit du pont dont la section est de l'ordre de 2 (10x5). Ainsi les crues rares, de débit maximal dépassant 250 à 300 3/S, entraînent l'exhaussement de la ligne d'eau à l'amont du pont, et des débordements du lit de l'oued. En effet lors de l'épisode du 30 septembre 1986, responsable de la plus forte crue enregistrée sur l'Oued El Bey ; des débordements se sont produits en plusieurs points le long du cours d'eau et le niveau d'eau a atteint 90 cm au-

dessus du pont (les précipitations et les crues exceptionnelles du 29 et 30 septembre 86 sur la Tunisie du NE – Ghorbel, Kallel et Fersi – DGRE, décembre 1986). Le débit enregistré, soit 300m³/s, est une estimation du débit supposé transité sous le pont.

Rattachée à la pluie enregistrée le 30 septembre 1986, soit 197 mm, cette crue serait de retour estimé à 50 ans. Faute de mesures fiables des crues rares, l'analyse statistique des valeurs mesurées des débits de crue ne peut être effectuée qu'à titre indicatif, mais elle reste assez significative pour les crues de retour inférieur à 10 ans.

La loi qui s'ajuste le mieux aux crues extrêmes mesurées est la loi de Gumbel, qui permet d'obtenir les valeurs statistiques suivantes :



Débits de crues extrêmes (m ³ /s)							
Station	T (ans)	2ans	5ans	10ans	20ans	50ans	100ans
O. El Bey	Qmax(m ³ /s)	65	140	185	250	350	400

Faute d'une analyse statistique significative, nous utilisons la formule SOGREAH définie et appliquée dans le cadre du projet national de protection contre les inondations. Le débit de crue de période de retour T s'exprime comme suit :

$$A(T) = S^{0,75} (P(T) - P_0)/12$$

Avec :

- S : surface du bassin versant en Km²
- P (T) : pluie journalière max de retour T, en mm
- Po : seuil de ruissellement en mm, pris égal à 40 mm dans la zone de Soliman.

Comme l'impact des barrages Masri et Tahouna sur les crues rares (de T>10 ans) est faible, la formule sera appliquée sur la totalité du bassin. Les valeurs calculées pour les crues assez rares seront réajustées en tenant compte des observations.

Aussi, compte tenu des caractéristiques morphologiques du bassin étudié (relief très faible). Les valeurs calculées sont réduites d'environ 50%.

Dans le tableau suivant nous donnons les valeurs estimées par la méthode SOGREAH, ainsi que les valeurs admises dans les études antérieures :

- Etude de la protection contre les Inondations de la Ville de Soliman (DHU – Mai 2002) ;
- Etude du pont de la MC 26 sur l'Oued El Bey.

Bassin versant	S Km ²	Méthode	Débit de crue en m ³ /s pour différents T					
			2	5	10	20	50	100
Oued El Bey	475	<i>SOGREAH</i>	98	229	314	450	650	805
		<i>Protection contre les Inondations</i>	47	174	326	415	526	831
		<i>Pont MC 26</i>	—	—	—	—	—	700
		<i>Observées</i>	65	140	185	—	—	—
		Valeurs retenues	65	175	250	400	600	800

Les valeurs retenues, sont celles qui conduisent au meilleur ajustement statistique suivant une loi de Gumbel. Elles tiennent en compte des valeurs mesurées et de l'impact des barrages sur les crues assez rares en particulier.

d-2- Apports de crues

Les apports de crue peuvent être déterminés par la formule suivante :

$V(T) = k 1800 Q(T) t_b$, avec :

- $V(T)$: volume de la crue de retour T, en m³
- $Q(T)$: Débit de pointe de la crue de retour T en m³/s
- t_b : temps de base en heure
- k : coefficient réducteur qui tient compte de la forme de l'hydrogramme de crue, on prend $K = 0,6$.

Cette formule est celle de la crue triangulaire équivalente profilée.

Le temps de base t_b peut être estimé par la formule suivante :

- $t_b = 1,5S^{0,385}$, en heure
- Avec S surface du bassin en Km² :

Pour tenir compte des caractéristiques physiques du bassin nous préconisons une majoration de 30% de la valeur calculée. Ainsi on obtient $t_b = 21$ heures

Les apports de crue estimés sont consignés dans le tableau suivant :

Bassin versant	S (Km ²)	Volume de crue en Mm ³ pour différents T					
		2	5	10	20	50	100
Oued El Bey	475	1,5	4,0	5,7	9,1	13,6	18,1

d-3-Hydrogrammes de crues

L'hydrogramme de crue, de période de retour T, est défini par les paramètres suivants :

- Le débit de pointe $Q(T)$ max ;
- Le volume de la crue $V(T)$;
- Le temps de base t_b ;
- Le temps de montée t_m , pris égal à $t_m = 0,4 t_b$;
- La forme de l'hydrogramme de crue, obtenue par reprofilage de la crue triangulaire équivalente.

Les hydrogrammes des crues types peuvent être définis par le tableau suivant :

t en heure	T = 2 ans		T = 10 ans		T = 50 ans	
	Q m ³ /s	V en 103 m ³	Q m ³ /s	V en 103 m ³	Q m ³ /s	V en 103 m ³
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2,0	7,0	12,6	30	108,0	75	270
3,0	11	45,0	50	252,0	118	617
4,0	17	95,0	70	468	160	1117
5,0	25	171,0	92	760	215	1792
6,0	35	279,0	122	1145	290	2701
7,0	48	428,0	175	1679	430	3997
7,5	56	522,0	220	2035	520	4852
8,4	65	718,0	250	2796	600	6667
9,0	60	853,0	238	3323	550	7909
10,0	45	1042,0	160	4039	360	9547
11,0	33	1182,0	115	4535	255	10654
12,0	25	1287	80	4885	190	11455
13,0	18	1364	60	5137	140	12049
15	9	1461	38	5490	90	12877
17	4	1508	20	5699	45	13363
19	2	1530	10	5807	20	13597
21	0	1538	0	5840	0	136,60

1.2.3 Bassins versants de bordure

Ces bassins versants sont de taille très réduite. Ils s'étendent sur le flanc des collines au Sud et à l'Est de la Sebkh, et couvrent environ 22 Km² (voir carte réseau hydrographique). Ce sont des bassins ruraux à faible relief, où les écoulements sont de faible importance et se font d'une façon diffuse vers la Sebkh.

La contribution de ses écoulements au bilan hydrique de la Sebkh est marginale comparée aux apports de l'Oued El Bey. Ainsi, il n'est pas jugé utile de définir, dans ce qui suit, les caractéristiques hydrologiques de ces bassins versants.

1.3 Les apports solides

En raison des difficultés de mesure du transport solide, en suspension et par charriage de fond, les données concernant ce chapitre sont à manipuler avec beaucoup de précaution, étant donné qu'elles sont obtenues par extrapolation des observations sur des barrages collinaires voisins.

Deux campagnes de mesures de l'envasement des barrages ont été réalisées : une première en 1975, et une deuxième en 1991. Pour les barrages du Cap Bon qui ont bénéficié des deux campagnes de 1975 et 1991 (Chiba et Masri et Bezirk), les rythmes d'envasement estimés en première campagne sont beaucoup plus rapides que ceux de la seconde. Cela a conduit à des estimations très pessimistes en première campagne, et beaucoup plus optimistes en seconde. Mais la campagne de 1991 est statistiquement plus fiable que celle de 1975. Cela ne tient pas à la qualité des mesures, mais à l'échantillonnage statistique plus exhaustif en 1991 qu'en 1975.

En effet, avec 16 ans de service en plus, la campagne de 1991 a permis de réduire sensiblement les incertitudes liées à l'échantillonnage, notamment, l'absence d'événements hydrologiques majeurs entre 1975 et 1991, a ralenti très nettement les rythmes de sédimentation durant cette période. Contrairement aux crues historiques de 1969 et 1973, qui ont engendré la sédimentation très alarmante, mesurée durant les premières années de mise en service des premiers barrages, encore très «jeunes» en 1975 (7 ans de service seulement pour le barrage Masri). D'autant plus alarmante qu'elles ont engendré des calculs de rythmes de sédimentations très exagérés, et des fins de vie très proches pour certains d'entre eux (1999 pour Masri, dont la retenue est aujourd'hui envasée à moins de 20% de sa capacité).

Ainsi, on se basera seulement sur les mesures de l'envasement des barrages les plus anciens du Cap Bon, qui ont permis l'observation la plus exhaustive du transport solide :

	Sup. BV km ²	Capacité 10 ⁶ m ³	Période	Durée de service	Envasement total 10 ⁶ m ³	Erodabilité annuelle m ³ /ha/an	Charge moyenne g/l
Chiba	64	7,86	1963-1991	27ans	1,89	10.90	28
Masri	53	6,9	1968-1991	23 ans	0,86	7.05	15
Bezirk	84	6,5	1960-1993	33 ans	0,55	1.98	6

Aussi, on se basera sur les mesures de l'envasement des retenues collinaires du Cap Bon, et suivies dans le cadre de la convention «suivi des lacs collinaires » entre la Direction de la Conservation des Eaux et du Sol et l'Institut de Recherche pour le Développement.

Bassin versant	Surface du bassin versant (km ²)	Erodabilité annuelle (m ³ /ha/an)
Es Séghir	3,09	1,2
El Melah	0,85	5,0
Kamech	2,45	12,1
Moyenne		6,1

Ces résultats, montrent, que l'érodabilité moyenne annuelle des bassins versants de la région sont très variables, et varie entre 1 et 12 m³/ha/an.

En adoptant une érodabilité moyenne annuelle égale à 2 m³/ha/an correspondant à une charge moyenne de l'ordre de 13 g/l (apport annuel de crue estimé, à 7,5 Mm³), légèrement inférieure à celle mesurée au barrage Masri, les apports solides à la Sebkh serait de 82 000 m³/an.

En admettant que seul les matériaux en suspension, soit 80 % des apports, atteignent la Sebkh, et que 60% des apports sont évacués vers la mer par le grau, le volume des matériaux solides qui contribuent au comblement de la Sebkh serait de 26 000 m³/an. Compte tenu des caractéristiques hydrauliques de la Sebkh définies ci-après, cette valeur correspond à environ 0,8 cm /an, ce qui suppose que le bas fond de la Sebkh atteindra la côte 1,0 mNGT en 160 ans environ.

1.4 Salinité de l'eau

En se référant à la géologie de surface du bassin versant, on remarque l'absence de formations triasiques salifères. Ce qui permet de conclure à la bonne qualité des eaux de ruissellement. En se référant aux quelques mesures effectuées par la DGRE dans la région, on peut retenir, pour les besoins de notre évaluation hydrologique, que les valeurs de salinité sont en moyennes égales à 1,8 g/l. Elles sont comprises entre 1 g/l (écoulement de crue) et 3,7 g/l (écoulement d'étiage). Ci-dessous les détails des mesures de la DGRE :

V. étiage 10 ⁶ m ³	Salinité moyenne g/l	Apport en sel 10 ³ tonnes	V. crue 10 ⁶ m ³	Salinité moyenne g/l	Apport en sel 10 ³ tonnes	V. total 10 ⁶ m ³	Salinité moyenne g/l	Apport en sel 10 ³ tonnes
3,30	3,75	12,4	7,5	1,05	7,9	10,8	1,8	20,3

1.5 Caractéristiques hydrauliques de la Sebkh

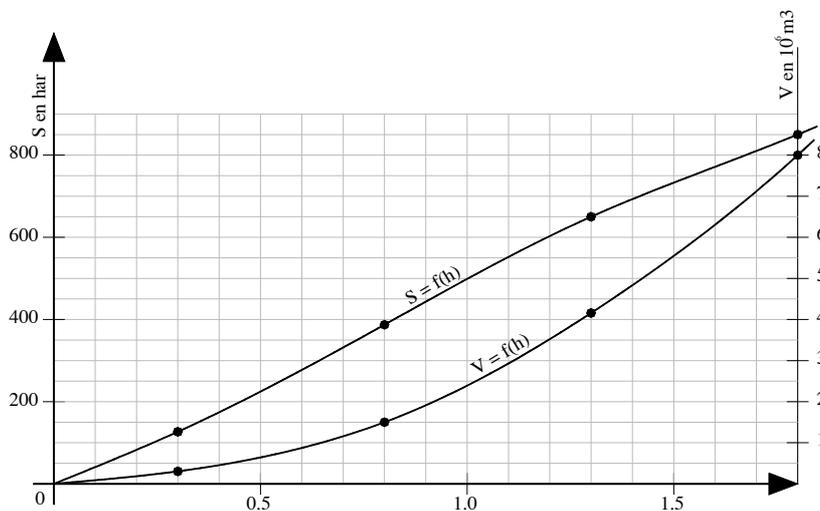
1.5.1 Caractéristiques topographiques

Nous disposons d'un levé topographique et bathymétrique au 1/5000, de la Sebkh et de ses abords, réalisé dans le cadre de cette étude. Ces levés nous permettent d'établir la carte hypsométrique donnée ci-après, et déterminer la loi de stockage de la Sebkh.

1.5.2 Loi de stockage

La loi de stockage est définie par les courbes hauteur- volumes et hauteur- surface, présentées dans la figure donnée ci-après, et exprimées analytiquement par le tableau suivant :

Côte NGT	Profondeur (m)	Surface (ha)	Volume (10^6 m^3)
-0,30	0	0	0
0,0	0,30	121	0,24
0,50	0,80	389	1,52
1,0	1,30	664	4,15
1,5	1,80	850	7,94



1.5.3 Variation du niveau d'eau dans la Sebkh

La variation du niveau d'eau dans la Sebkh de Soliman suit deux régimes :

- Un régime régi par les courants marins qui peuvent engendrer des variations du niveau d'eau de l'ordre de 30 à 40cm, et même 80cm en mauvaises conditions atmosphériques.
- Un régime occasionnel qui suit le régime de crue de l'Oued El Bey. En effet en période de crue, la Sebkh se comporte comme un réservoir qui a un effet tampon sur les crues de l'Oued avant de se jeter en mer.

Compte tenu de la situation du débouché en mer de la Sebkh, la vidange du volume additionnel se fait systématiquement après chaque crue. Les plus hautes eaux (PHE) dans la Sebkh, pouvant être atteintes en période de crue, suivent la même répartition statistique que les crues de l'Oued El Bey. Elles peuvent être déterminées par l'étude du laminage des crues caractéristiques, au niveau de la Sebkh. Nous supposons que le débit évacué par le grau au niveau du débouché en mer vérifie la formule du seuil de largeur moyenne 70m et de charge amont égale à la hauteur d'eau dans la Sebkh. Le niveau d'eau au début de la crue est aussi supposé à la côte +0,30 m NGT. En utilisant les hydrogrammes de crues et la loi de stockage définis précédemment le calcul de laminage conduit aux résultats suivants :

T en ans	Crues caractéristiques		PHE dans la Sebkh mNGT
	Q m^3/s	V en 10^6 m^3	
2	65	1,5	0,40
10	250	5,7	0,80
50	600	13,6	1,45

Figure 4 – carte hypsométrique

1.6 Océanographie

1.6.1 Fluctuations du niveau de la mer

1.6.1.1 La marée

Dans le Golfe de Tunis, la marée est très faible et possède les caractéristiques suivantes : en mortes eaux, le marnage est de l'ordre de 12 cm, en vives eaux il est de 30 à 40 cm. A cette marée astronomique s'ajoutent des phénomènes atmosphériques (vent, pression atmosphérique...) qui peuvent engendrer des variations du niveau de la mer de l'ordre de 50 cm (L.C.H.F. 1978).

Du fait de la légère surélévation de la Sebkh par rapport au niveau de la mer, la marée ne se transmet qu'occasionnellement quand la force et la direction des vents favorisent des sèches et que l'hydrodynamisme est suffisamment important pour déblayer les sédiments s'accumulant régulièrement devant le grau.

1.6.1.2 Effet de serre et élévation du niveau de la mer

La tendance naturelle tend vers le réchauffement du climat. Cette tendance naturelle est renforcée par un changement climatique perceptible à l'échelle globale du principalement aux effets de serre du à des émissions atmosphériques inconsidérées générées principalement par les activités industrielles.

Les effets météorologiques sont d'ores et déjà perceptibles et leur tendance, si elles ne sont pas atténuées devrait engendrer des bouleversements importants aussi bien sur le plan de l'aridité des climats que sur le plan de l'océanographie. La dilatation des masses d'eau et la fonte des glaciers devraient selon les spécialistes entraîner une élévation du niveau des océans de 20 à 95 cm d'ici la fin du siècle en cours. L'impact de ce phénomène sur le trait de côte, principalement sur les zones basses sera incontournable. Les solutions à ce phénomène global devront être traitées et mises en œuvre à l'échelle universelle.

Il demeure que les effets de ce phénomène sur le trait de côte tunisien, même s'ils ne sont pas la seule origine du recul du trait de côte, doivent y contribuer en partie. Néanmoins les investigations pour déterminer les effets exacts de ce phénomène sur les différents compartiments du littoral sont encore embryonnaires : un grand travail reste à faire sur le plan stratégique pour quantifier de manière précise les effets de l'élévation du niveau de la mer sur la physiographie du littoral, sur la qualité des eaux des nappes côtières et sur les modifications des principales valeurs écologiques des écosystèmes côtiers.

1.6.1.3 Les houles

La houle joue un rôle déterminant dans le transit sédimentaire dans les zones littorales et infra-littorales. Elle est le principal agent de transport des sables, du large vers la côte (transport en masse), de la côte vers le large (courant de retour) et le long de la côte (dérive littorale).

Les houles du large :

Venant de l'extérieur du golfe, leur amplitude initialement importante s'amortissent au fur et à mesure qu'elles avancent dans le golfe. En effet, à l'approche de la côte elles se réfractent sur les fonds peu profonds et perdent de l'énergie d'une manière sensible qui se traduit par un dépôt sédimentaire. Elles ont souvent des incidences faibles par rapport à la côte et le transit littoral qui les accompagne est par conséquent sans importance ou faible.

Mers de vents et houles côtières :

Elles sont engendrées par les vents côtiers sur des distances moyennes. Elles atteignent l'intérieur du Golfe de Tunis sous forme de tempêtes pouvant atteindre des hauteurs capables d'agir sur le fond à forte profondeur et surtout produire des marées barométriques souvent très érosives vis à vis du fond et de la plage.

L'obliquité par rapport à la plage est généralement faible mais suffisante pour engendrer un transit littoral intense.

Les caractéristiques de la houle dans le golfe de Tunis :

Site	Direction des houles	Hauteur de la houle au large H0 (en m)	Période de la houle au large T (en s)	Longueur de la houle au large (en m)	Profondeur de déferlement (en m)	Hauteur de la houle déferlante (en m)	Vitesse du courant littoral (en m/s)
Golfe de Tunis	N355°	7,5	13	268	11,6	9,75	0,64
		7,5	9	128	11,6	9,75	0,93
		6,5	6	57	10,0	8,45	1,04
	N335	5,5	13	268	8,5	7,15	0,99
		5,5	9	128	8,5	7,15	1,44
		5,5	6	57	8,5	7,15	2,15
	N15°	5,5	9	128	8,5	7,15	1,43
		5,5	6	57	8,5	7,15	2,15
	N35°	4	9	128	6,2	5,20	1,43
		4	6	57	6,2	5,20	2,14
	N55°	3,5	9	128	5,4	4,55	1,09
		3,5	6	57	5,4	4,55	1,64

(L.C.H.F 1987, Sogreah 1992 et H.P 1995)

Les houles principales sont celles de direction NNE à NE. Ces houles buttent contre la côte ouest avec un fort angle d'incidence induisant une dérive littorale, généralement Nord-Sud. Par contre le long de la côte Sud (de l'oued Méliane jusqu'à Soliman), les houles atteignent le littoral avec de faibles angles d'incidence et n'ont pratiquement aucun effet.

1.6.2 Les courants marins**1.6.2.1 Hydrodynamique**

Plusieurs facteurs interviennent dans la dynamique littorale et dans les mécanismes de la sédimentation Parmi ces facteurs, on cite en particulier : les houles, les courants, les marées, l'action biologique (présence d'herbiers) et d'autres facteurs.

1.6.2.2 Les courants

Plusieurs types de courants sont à signaler dans le golfe de Tunis.

a- Courants généraux ou de surface :

La circulation générale des courants dans le Golfe de Tunis est tributaire, en partie, des caractères hydrologiques de la Méditerranée. En effet, des mesures hydrologiques réalisées dans le Golfe de Tunis en 1973 par Italconsult, montrent que les courants de densité qui traversent Gibraltar se divisent en deux branches. L'une vient contourner la côte ouest et se dirige vers le Sud, ce qui peut bloquer les eaux et provoquer des courants giratoires, tel que c'est le cas au large de l'embouchure de l'oued Medjerda (Pimienta, 1959 ; Bobier et al., 1980). L'autre branche se rabat suivant une direction SW-NE. A l'approche de Djebel Korbous, elle est déviée vers le Sud avant de se diriger vers le Nord, au milieu du golfe de Tunis (Italconsult, 1973).

b- Courants littoraux ou de houle :

Après réfraction, la houle déferlante arrive sur la plage avec une certaine obliquité. Elle donne naissance à deux types de courants :

- un courant parallèle au rivage ou courant de houle, entre la zone de déferlement et le trait de la côte ;
- un courant en dents de scie sur la plage, appelé courant de « jet de rive ».

Les courants de houle sont responsables de l'essentiel du transport par dérive. Ils sont à l'origine de 18 formations de plusieurs corps sableux tels que les tombolos, les croissants de plage, les cordons littoraux, les flèches etc. Il existe le long de la côte sud du Golfe de Tunis, deux dérives littorales dont la principale, allant de l'Est (Korbous) vers l'Ouest (Goulette), charrie d'énormes quantités de sables jusqu'au fond du Golfe. L'autre qui longe la côte dans le sens contraire, a un effet très faible.

Le long de la côte ouest, de Cap Gammarth à la Goulette, les vitesses moyennes des courants sont inférieures à 5m/s (L.C.H.F, 1967). Ces courants sont le plus souvent parallèles à la côte, mais les vents peuvent en modifier la direction, essentiellement en surface.

c-Courants de marée :

Les courants de marée sont très faibles, et atteignent au maximum 10 cm / s. Ils sont le plus souvent masqués par les courants liés aux houles.

1.6.3 Dynamique sédimentaire

Tous les témoignages permettent d'affirmer la dominance de l'apport continental et littoral dans le Petit Golfe de Tunis. L'apport marin est faible et limité aux matériaux biogéniques.

Les sédiments d'origine locale sont constitués d'un amalgame de sables hétérogènes, de graviers et même de galets, issus de l'érosion du littoral.

Nous sommes ici en présence d'un système ouvert où le stock sédimentaire peut évoluer quantitativement dans un sens ou dans l'autre sous le contrôle:

- de la dynamique fluviale régionale ;
- du régime hydrodynamique local ;
- de la dynamique éolienne.

Jadis, les réseaux hydrographiques étaient les fournisseurs essentiels des matériaux dans le Petit Golfe de Tunis. Ce phénomène est actuellement paralysé à cause de la réduction pour des raisons diverses (urbanisation, irrigation, barrages...) de la quantité d'eau et de matériaux mis en circulation.

Dans la région orientale du secteur, la déflation éolienne occupe une place de choix dans le mouvement des sédiments vers l'intérieur de la terre ferme. Les vents dominants NW disposent d'un champ d'action libre où leur emprise s'affirme très vite pendant la période sèche, d'ailleurs très longue dans la région. La responsabilité des vents NW dans la dégradation des plages est évidente. Les sédiments mis à la disposition de la circulation marine sont soumis à un déséquilibre global dans lequel le flux sédimentaire dispersé vers le large dépasse largement, le flux rejeté à la côte.

De toutes ces considérations, nous déduisons un déséquilibre sédimentaire global au niveau de la plage, où la mer aurait plutôt tendance à éroder qu'à déposer des matériaux.

Ce déficit entraîne irrévocablement l'érosion de la plage. Le littoral de Soliman présente un équilibre instable sujet à des modifications permanentes qui l'affectent depuis des siècles, mais depuis ces dernières années, l'érosion s'est particulièrement accentuée.

1.7 Caractéristiques géologiques et géomorphologiques

1.7.1 Géologie

On observe dans la région deux ensembles structuraux marquant la topographie, à savoir, le Jbel Korbous à l'est et le Jbel Boukornine à l'ouest.

Les deux montagnes viennent encadrer une vaste plaine, la plaine de Soliman, dans sa partie basse aux environs du littoral. Elle est du point de vue géologique célèbre par sa structure quaternaire subsidente.

1.7.1.1 Esquisse des terrains géologiques

Dans la région, les terrains à l'affleurement s'étalent depuis la base du secondaire jusqu'au Quaternaire récent.

1.7.1.2 Le Secondaire

a. Le Trias :

Il se présente sous forme de lambeaux, occupant le cœur du Jbel Boukornine, en intrusion dans les séries jurassiques et le crétacé. Le Trias se présente sous forme d'un complexe lithostratigraphique constitué essentiellement de gypse, de schistes rouges, verts et gris, de dolomies bréchifiées, ...

b. Le Jurassique :

Il n'affleure qu'au centre du massif de Jbel Boukornine. La série jurassique est incomplète et limitée au jurassique supérieur. Elle se présente sous forme d'un complexe dolomitique à intercalations calcaires et marnes. Dans la détail, la série est complexe. On y distingue de bas en haut :

- du calcaire à silex, riche en dolomie à la base et marnes au sommet,
- un niveau marno-calcaire, riche en dolomie à la base et en marnes au sommet,
- un niveau marno-calcaire, de plus en plus riche en marnes de la base au sommet.

La base du jurassique est marquée par une invasion marine qui a fourni une sédimentation dolomitique et calcaire et une subsidence marquée par la prédominance de faciès profond marneux.

c. Le Crétacé :

Il est développé dans le Jbel Boukornine où il est essentiellement marneux et son faciès marin représente la continuité du jurassique avec toutefois apparition de calcaire au sommet.

1.7.1.3 Le Tertiaire

Le contact entre le secondaire et le tertiaire est matérialisée par ce que Burolet en 1956 a appelé les marnes de transition équivalentes à la formation el Haria où la limite n'est pas toujours définie, mais dont la base renferme une microfaune maestrichienne et le sommet une microfaune paléocène.

a. L'Eocène :

Il affleure au Jbel Boukornine comme au Jbel Korbous. Il est constitué de calcaires à Globigerinidae et Globorotalidae à sa base et de marnes au sommet.

b. L'Oligocène :

Il est particulièrement développé au Jbel Korbous. Il affleure au bord du rivage actuel, avec à sa base une alternance grés-marneuse et au sommet des grès grossiers à cachet continental. Les sédiments grossiers ont sûrement contribué à la formation des séries plus récentes.

c. Le Miocène :

Il est représenté par des grès grossiers à Pecten à sa base, suivis de marnes sableuses et enfin un complexe calcaréo-détritique.

d. Le Pliocène :

Au Cap Bon le pliocène est connu dans la partie orientale mais demeure inconnu dans la partie occidentale. Il est formé de sédiments molassiques qui viennent épouser les paléosurfaces d'abrasion vidoboniennes. Le Pliocène correspond à une transgression pendant laquelle la mer est venue baigner les pieds des deux Jbels (Korbous et Boukornine). A la fin du pliocène, la mer s'est retirée en laissant derrière elle un relief soumis à l'érosion.

1.7.1.4 Le Quaternaire

Le Quaternaire occupe les deux plaines de Soliman à Mornag, et d'après les études de Schoeller en 1948, réalisée à partir de forages hydrogéologiques, il a été montré que la plaine de Soliman correspond à une fosse d'accumulation effondrée dont les bordures W et S sont constituées par des formations vindoboniennes et burdigaliennes affectées par un plongement rapide vers le centre, grâce à des failles ou des flexures. En 1948, Schoeller a insisté sur l'existence d'une paléofaune à la profondeur de -275 m formée d'espèces ne vivant guère à des profondeurs supérieures à 60 ou 70 m. Parmi elles, nous pouvons citer *Bittium lacteum*, *Turbonella sufa*, *Raphitoma alterna*, *Arca noae*.

La présence de ces dépôts lagunaires indiquant une sédimentation sous une faible tranche d'eau et aujourd'hui enfouie à grande profondeur, a conduit Schoeller à admettre un abaissement de la région d'au moins 200m. L'architecture montre des successions et des passages latéraux complexes constitués par des faciès sableux et marneux. Les divers faciès possèdent des structures lenticulaires pouvant communiquer horizontalement.

Les formations anciennes tapissant la fosse à 500 m de profondeur et à sa bordure, ont été assimilées hypothétiquement au quaternaire ancien et moyen. Dans la plaine de Mornag, on retrouve la même évolution

quaternaire, mais il semble ici que les dépôts se soient formés dans une cuvette fermée contrairement à la fosse de Soliman largement ouverte vers le NW.

1.7.1.5 Tectonique

a. Unités structurales :

Les unités structurales de la région sont dominées par deux grands traits structuraux : les plaines subsidentes de Soliman-Mornag et les deux massifs de Jbel Korbous - Jbel Boukornine.

b. Phases tectoniques :

L'activité tectonique s'est manifestée à plusieurs époques par des mouvements de plissement liés à un système de failles pluridirectionnelles. Les principaux mouvements tectoniques anciens sont apparus pendant le Cénomaniens, le Sénonien, et le Turonien qu'on repère grâce aux dénudations des reliefs et aux réductions de la sédimentation.

Ces mouvements sont supposés contemporains des accidents NS. Entre l'Oligocène et le Burdigalien, des mouvements tectoniques probables ont donné des couches horizontales ou subhorizontales associées aux failles de direction NW-SE sans discordance angulaire entre l'Oligocène et le Burdigalien.

A la suite du Miocène, intervient une nouvelle phase de déformation que l'on repère grâce à la discordance entre le Miocène et le Pliocène. L'interférence de mouvements tectoniques et les accidents ont entraîné, d'après Archambault (1947) et Castany (1948), la mise en place de zones fortement subsidentes dont le remplissage est purement quaternaire.

Figure 5 géologie

1.7.2 Géomorphologie

Le paysage morphologique de la plaine de Soliman résulte de divers processus d'érosion combinés à des conditions climatiques arides favorables à l'édification de plusieurs appareils dunaires associés à des zones basses, actuellement marécageuses, excavées par la déflation éolienne.

La déflation a occupé une place de choix dans l'évolution de la morphologie grâce à trois conditions :

- présence locale du matériel préparé par la régression qui a amené la mer à un niveau plus bas que l'actuel ;
- période sèche ;
- direction dominante du vent de NW qui exerce une action maximale sur le matériel sans le moindre obstacle.

1.7.2.1 Les dunes anciennes

Les dunes anciennes se présentent sous deux formes : les dunes massives et les dunes à stratifications obliques.

1.7.2.2 Les dunes massives

Elles constituent un ensemble morphologique situé parallèlement à 3 km de la plage actuelle, s'étendant depuis le massif de Hammam-Lif à l'Ouest jusqu'au Jbel Korbous à l'Est. Elles sont entaillées vers les deux extrémités ouest et est, et en leur milieu, respectivement par les oueds Soltane, Bézirk et El Bey.

Ces oueds constituent de véritables exutoires permettant l'écoulement des eaux fluviales. Ces dunes ont été portées à des altitudes variables et principalement élevées à l'est de Soliman où elles atteignent au niveau de Chérifate une altitude de 30 à 40 m.

L'espace marin découvert sur quelques kilomètres par le recul de la mer depuis la côte 17 – 20 m jusqu'à une côte située au-dessous du niveau actuel, est soumis à la déflation en période régressive sèche et permettait une évolution rapide des dunes. En effet, au fur et à mesure que la mer reculait, le vent du NW entraînait les sédiments jusque vers le plus haut niveau 17 – 20 m qui constitue une importante butte contre laquelle les sables viennent s'amasser. L'apport éolien disparaît lors de la transgression néo-tyrrhénienne. L'accumulation de ces sables s'est traduite par un arc de cercle épousant la forme de la plage ancienne. Leur disposition massive indique un apport sans interruption ne permettant pas la formation des stratifications obliques typiques des dunes éoliennes. Les dunes ainsi formées sont fossilisées par des limons récents.

Les concrétions gréseuses de taille centimétrique, du sable fin éolien, lui donnent après érosion un aspect vacuolaire caractéristique.

1.7.2.3 Les dunes à stratifications obliques

Ces dunes, localisées ponctuellement en bordure du rivage actuel, possèdent les caractéristiques suivantes :

- de par leur position en bord de mer, elles ont pris origine à partir d'un milieu où le sable pouvait se mouvoir librement ;
- leur altitude se situe à + 10 m NGT ;
- elles sont constituées de paquets de sédiments sableux disposés indépendamment sans continuité longitudinale ;
- la mise en place de leurs stratifications obliques indique un apport éolien par intermittence ;
- elles sont plus récentes que les dunes anciennes.

1.7.2.4 Les dunes récentes

Ce sont des dunes vives qui bordent le rivage actuel depuis Hammam Plage jusqu'à Sidi Raïs. Elles s'étalent sur une largeur de 250 à 1500 m, selon une hauteur variable de 1 à 3 m. Leur accumulation correspondrait à une période particulièrement propice à l'arrivée à la côte de sédiments marins. On rattache cette période à celle de la fermeture du lac de Tunis où la coalescence des deux flèches a provoqué un rejet de sédiments vers le SE de la côte du petit golfe de Tunis. Les sables largués au niveau du rivage sont alors repris par le vent qui, en association avec les fragments dunaires néotyrrhéniens, leur a donné le cachet morphologique actuel. En effet, les dunes récentes viennent se cantonner derrière les reliques dunaires sous forme de bourrelets et de dépression dont la mosaïque est régie par ces dunes anciennes irrégulièrement espacées. Les espaces intermédiaires constituent des couloirs traversés par le vent et privés d'une forte alimentation. Au niveau de l'embouchure de

l'Oued Bézirk, par contre, les amas de sable anciens responsables de l'accumulation en bourrelets sont absents et l'accumulation se traduit alors par un ensemble mamelonné dans un profil général NW-SE.

Les dunes sont partiellement couvertes de buissons qui, pour éviter l'ensevelissement, sont contraintes de s'élever au fur et à mesure de l'arrivée du sable éolien. Par contre, les plantes naines sont en général englouties sous les sables à la suite d'une brutale rafale de vent.

1.7.2.5 La zone marécageuse et la Sebkha

Les phénomènes éoliens anciens ont développé au niveau des formations tyrrhéniennes un modelé de déflation-accumulation. La basse plaine située en aval des dunes est devenue par excavation une cuvette d'inondation, aujourd'hui occupée par des marécages et des Sebkhas. La cuvette située actuellement entre les dunes anciennes massives et les dunes récentes, fut tardivement comblée par des sédiments sablo-vaseux, transportés par la mer et par les oueds qui débouchent dans la plaine. La Sebkha de Soliman correspondrait à la zone la plus basse de la cuvette, envahie par la mer initialement et située à l'abri des apports fluviaux massifs. Les apports continentaux par les eaux de ruissellement ne l'atteignent qu'en période de crue et son comblement se fait donc très lentement.

Figure 6 géomorphologie

1.8 Caractéristiques géotechniques

Le présent chapitre présente les aspects géotechniques de la Sebkha de Soliman. Les caractéristiques physiques et mécaniques du sol de la Sebkha ont été déterminées à partir d'une campagne géotechnique menée dans le cadre de cette phase du projet.

1.8.1 Consistance de la campagne

La consistance de la campagne de reconnaissance du sol de la Sebkha de Soliman a été définie par le géotechnicien du bureau d'études. Son programme a été soumis à l'approbation de l'APAL comme l'exige le cahier des charges. La réalisation de la campagne a été confiée à la société GETU.

Une visite des lieux effectuée par le géotechnicien du bureau d'études, le chef de projet et le représentant de la société de sondage, a permis d'implanter les sondages sur le terrain. Les travaux de la campagne se sont étalés sur la période allant du 26 octobre au 12 novembre 2001.

La campagne de reconnaissance du sol comporte les travaux suivants :

- La réalisation de 7 sondages carottés de 10m de profondeur et 1 sondage carotté de 5m de profondeur. Dans chaque sondage on a procédé au prélèvement de 1 à 2 échantillons intacts dans les formations cohérentes rencontrées généralement en surface, et à la réalisation de 4 essais SPT (Standard Pénétration Test) dans les formations sablonneuses en profondeurs. Au total 5 échantillons intacts et 25 échantillons remaniés ont été prélevés. Pour chaque sondage, le niveau statique de la nappe phréatique a été relevé.
- Le forage a été réalisé par la méthode de rotation au moyen d'un outil du type carottier double de diamètre Ø101mm.
- La réalisation de 4 sondages au pénétromètre statique, tous implantés au voisinage d'un sondage carotté pour permettre une meilleure corrélation entre les différents types de sondages.

Les sondages du type pressiométrique ont été écartés compte tenu de la nature lâche des sables rencontrés et du manque de fiabilité des essais pressiométriques dans ce type de sol.

1.8.2 Résultat de la campagne

1.8.2.1 Résultats des sondages carottés

Les sondages carottés SC1 à SC8 ont été implantés dans la zone d'étude. L'implantation des points de sondage a été choisie pour remplir deux objectifs (voir figure ci-dessous) :

- Explorer autant que possible, la totalité des berges de la sebkha ;
- Dresser une coupe lithologique du sol à travers la sebkha.

Sondage SC1 : poussé à 10 m de profondeur, il a permis d'identifier, sous une couverture de sable fin à moyen d'épaisseur 50cm, une couche d'argile plastique brunâtre devenant vaseuse grisâtre. Deux échantillons intacts ont pu être prélevés dans cette formation. A partir de -4m de profondeur et jusqu'à la fin du sondage, une couche de sable fin jaunâtre. Le niveau de la nappe se trouve à -0,3 m. Les essais SPT réalisés dans cet horizon ont permis d'identifier un sable lâche de -4 à -5m ; N=12 (contaminé par la couche d'argile vaseuse supérieure) et un sable dense au delà de 5m (N= 29 ; 35 & 57).

Sondage SC2 (Profondeur 10 m) : il a permis de reconnaître, sous une couverture d'argile plastique légèrement sableuse d'épaisseur 60cm, une couche de sable fin grisâtre coquillée jusqu'à -3m de profondeur. A partir de -3m de profondeur et jusqu'à la fin du sondage, une formation de sable fin jaunâtre moyennement dense. Le niveau de la nappe se trouve à -0,3 m. Les essais SPT réalisés dans les deux horizons sablonneux ont permis d'identifier un sable lâche (N=5) de -0.6 à -3m et un sable moyennement dense au delà de -3m (N= 10 ; 18 & 26).

Sondage SC3 (Profondeur 10m) : il a permis de reconnaître :

- de 0 à -3 m : une couche d'argile plastique noirâtre légèrement sableuse en tête ;
- de -3 à -6 m : une formation de sable fin jaunâtre avec un passage d'argile sableuse grise de 15cm d'épaisseur ;
- De -6 à -10 m : une couche de sable fin silteux jaune-grisâtre.

Le niveau de la nappe se trouve à -0,3 m. Un seul échantillon intact a été prélevé dans la couche d'argile. Les essais SPT réalisés dans les deux horizons sablonneux ont permis d'identifier un sable lâche (N=8) de -3 à -6m et un sable moyennement dense au delà de -6m (N= 16).

Sondage SC4 (Profondeur 10m) : il a permis de reconnaître la succession de couches suivantes :

- de 0 à -0.8m : une couche de sable fin à moyen jaunâtre,
- de -0.8 à -1.8m : une couche de vase,
- de -1.8 à -2.3m : une couche de sable fin grisâtre,
- de -2.3 à -2.7m : une couche de sable consolidé,
- de -2.7 à -3.1m : une couche de sable vaseux grisâtre,
- de -3.1 à -10m : une formation de sable fin à moyen coquillé beige- jaunâtre.

Le niveau de la nappe se trouve à -0,4 m. Les essais SPT réalisés dans la formation sableuse (-3 à -10m) ont permis d'identifier un sable moyennement dense (N= 16 ; 18 ; 39 & 31).

Sondage SC5 (Profondeur 10m) : il a permis de reconnaître la succession de couches suivantes :

- de 0 à -1.0m : argile molle légèrement coquillée,
- de -1.0 à -2.1m : argile plastique grisâtre légèrement sableuse,
- de -2.1 à -3.0m : sable fin silteux beige - jaunâtre,
- de -3.0 à -10m : sable fin jaunâtre légèrement coquillé avec passage consolidé entre -9,5 et -9,6m.

Le niveau de la nappe se trouve à -0,4 m. Un seul échantillon intact a pu être prélevé dans la couche d'argile plastique grisâtre légèrement sableuse. Les essais SPT réalisés dans la formation sableuse (-3 à -10m) ont permis d'identifier un sable moyennement dense (N= 15 ; 18 ; Refus).

Sondage SC6 (Profondeur 10 m) : il a permis de reconnaître sur toute la profondeur du sondage, une couche de sable fin à moyen jaunâtre. Les essais SPT réalisés dans cette formation ont permis d'identifier un sable moyennement dense (N= 12 ; 14 ; 18 & 22).

Sondage SC7 (Profondeur 10m) : il a permis de reconnaître la succession de couches suivantes :

- de 0 à -1.7m : remblai,
- de -1.7 à -3.0m : sable fin silteux jaunâtre,
- de -3.0 à -10m : sable fin jaunâtre avec un passage consolidé de -5.8 à -6.0m.

Le niveau de la nappe se trouve à -0,6 m. Les essais SPT réalisés dans les formations sableuses ont permis d'identifier un sable lâche pour la première couche (N=10) et un sable moyennement dense (N= 18 ; 29 ; 27) pour la deuxième.

Sondage SC8 (Profondeur 5m) : il a permis de reconnaître la succession de couches suivantes :

- de 0 à -1.8m : sable fin beige- jaunâtre,
- de -1.8 à -4.3m : vase molle à débris de végétaux,
- de -4.3 à -5.0m : sable fin grisâtre.

Le niveau de la nappe a été relevé à -0.6m. Le seul essai SPT qui a été réalisé dans la formation sableuse supérieure a identifié un sable lâche (N=7). Un échantillon intact a été prélevé dans la couche de vase.

1.8.2.2 Résultats des sondages au pénétromètre statique

Sondage PS1 : implanté au près du sondage carotté SC1, il a pu être poussé à la même profondeur (10m). La résistance de pointe présente trois niveaux :

- de 0 à -4,0m : $R_p < 5$ bars,
- de -4,0 à -5,0m : R_p , moyenne =50 bars,
- de -5,0 à -10,0m : R_p progresse avec la profondeur de 35 à 160 bars pour atteindre vers la fin du sondage 320bars.

Sondage PS2 : implanté au près du sondage carotté SC6, il a pu être poussé -8,2 m de profondeur. La résistance de pointe présente le diagramme suivant :

- de 0 à -1,8 m : R_p , moyenne =150 bars,
- de -1,8 à -7,8 m : R_p , moyenne = 50 à 70 bars,
- de -7,8 à -8,2 m : $R_p > 250$ bars.

Sondage PS3 : implanté au près du sondage carotté SC3, il a pu être poussé -10.4m de profondeur. La résistance de pointe présente les variations suivantes :

- de 0 à -5,4m : Rp faibles (< 5 bars),
- de -5,4 à -10,4m : Rp, moyenne = 150 bars,

Sondage PS4 : implanté au près du sondage carotté SC7, il a pu être poussé -5.4m de profondeur. La résistance de pointe présente les variations suivantes :

- de 0 à -1.4m : Rp moyenne = 15 bars),
- de -1.4 à -3.0m : Rp, moyenne = 200 bars,
- de -3.0 à -4.4m : Rp moyenne = 120 bars,
- de -4.4 à -5.0m : Rp < 5 bars,
- de -.0 à -5.4m : Rp > 400 bars.

1.8.2.3 Résultats des essais de laboratoire

Le programme des essais de laboratoire comprend les travaux suivants :

- Sur les échantillons remaniés : Les essais d'identification : Granulométrie, limites d'Atterberg, densités,
- Sur les échantillons intacts:
- Les essais d'identification : Granulométrie, limites d'Atterberg, densités, teneur en eau,
- Des essais œudométriques,
- Des essais au scissomètre de laboratoire,
- Des essais de perméabilité.

25 échantillons remaniés et 5 échantillons intacts ont fait l'objet d'essais de laboratoire. Les résultats de ces essais sont consignés dans le tableau de la page suivante. Les résultats détaillés de la campagne géotechnique ont fait l'objet d'un rapport détaillé élaboré par GETU.

1.8.3 Autres données géotechniques disponibles

Pas loin de la zone d'étude de la Sebkha de Soliman et dans le cadre des études d'exécution de la station d'épuration de Borj Cédria - Saltène confiées au bureau d'études CETA, 2 sondages carottés et 4 sondages pressiométriques ont été réalisés en décembre 2000.

Sondage carotté 1 (Profondeur 30 m) : il a permis de reconnaître la succession de couches suivantes :

- de 0 à -0,7 m : argile grisâtre sableuse,
- de -0.7 à -22,0 m : Sable fin à moyen beige jaunâtre avec des galets par endroits (N= 54 ; 69 ; 61 ; 64 & 63),
- de -22.0 à -30,0 m : sable fin silteux grisâtre et coquillé.

Le niveau de la nappe a été relevé à -0,5 m.

Sondage carotté 2: (Profondeur 30m) : il a permis de reconnaître la succession de couches suivantes :

- de 0 à -0,9 m : argile grisâtre compacte,
- de -0,9 à -20,0 m : Sable fin à moyen beige jaunâtre avec des galets par endroits (N= 40 ; 53 ; 51 ; 67 & 70),
- de -20,0 à -30,0 m : sable grisâtre coquillé, légèrement vaseux.

Le niveau de la nappe a été relevé à -0,3 m. 4 échantillons remaniés ont été prélevés dans les sondages carottés et analysés au laboratoire. Leurs résultats sont rajoutés au tableau de la page suivante.

1.8.4 Synthèse des données géotechniques

Les investigations géotechniques menées dans le cadre de cette étude, nous ont permis d'appréhender les aspects géotechniques du sol de la sebkha de Soliman. Une coupe lithologique typique de la zone se présente comme suit :

1.8.4.1 Horizon A :

- Une couche d'argile plastique devenant vaseuse dans certains sondages. Elle présente une épaisseur très variable allant de 0.7 à 3,5 m.
- La limite de liquidité WL varie de 45 à 88% pour des indices de plasticité très élevés allant de 23 à 50.

- Les proportions en fines (<0.002mm) varient de 24 à 58%. La densité sèche varie de 0.89 à 1.34 g/cm³. Les teneurs en eau sont comprises entre 37 et 72% et restent voisines des limites de liquidités correspondantes.
- la résistance au cisaillement tel que mesuré par le scissomètre de laboratoire sont relativement faibles (0.4 à 2.8t/m²).
- La perméabilité de cette formation mesurée dans l'œudomètre est très faible : En effet le coefficient de perméabilité K est de l'ordre du 10⁻⁸ m/s.
- Les caractéristiques mécaniques de cette couche, exprimées par la résistance de pointe du pénétromètre statique, sont très faibles voir médiocres (Rp<5bars).
- La compressibilité de cette formation est très élevée : En effet le coefficient de consolidation Cc est assez élevé (compris entre 0,28 et 0,75) et est associé à des vitesses de consolidation très lentes (Cv=(1 à 2.4) 10⁻⁸ m²/s).
- Le tassement étant proportionnel au terme Cc / (1+eo) qui reste très élevé dans cette couche (0,24 à 0,42).
- Les caractéristiques physiques et mécaniques énumérées ci haut dénote d'une formation sous consolidée et par conséquent très compressibles.

1.8.4.2 Horizon B :

Il s'agit d'une couche de sable fin grisâtre, vaseuse par endroit avec présence de coquillage. Son épaisseur varie de 50 cm à 2,2 m selon les sondages. Deux échantillons remaniés ont pu être prélevés dans cette couche (SC1_SPT1 et SC2_SPT1). La granulométrie de ces sables est étalée. Les proportions en fines (<0,08mm) sont inférieures à 15%. Les essais SPT réalisés dans cette couche donnent des valeurs de N comprise entre 5 et 12, dénotant un sable très peu compact.

1.8.4.3 Horizon C :

C'est la formation la plus dominante du site. Elle a été mise en évidence dans la totalité des sondages. Il s'agit d'une formation de sable fin jaunâtre devenant silteuse par endroits. L'épaisseur totale de cette couche campagne mais les sondages de la STEP de Borj Cedria Seltène montre qu'elle s'étend sur une épaisseur d'environ 20m. L'équivalent de sable mesuré dans cette formation varie de 41 à 83. La densité de ces sables tel que mesurée par les essais SPT s'améliore considérablement avec la profondeur. Les valeurs de N varient de 10 (sable peu compact) à 30 (sable assez compact) pour atteindre par endroit la valeur de 57 (sable très compact). Les densités spécifiques mesurées au laboratoire varient de 2,65 à 2,70 g/cm³. La granulométrie est relativement étalée devenant serrée par endroits. Les proportions en fines (<0,002mm) restent inférieures à 5%. La proportion comprise entre 0,08mm et 0,42mm représente plus de 80% en général.

1.8.4.4 Conclusion

- **La stratigraphie de la Sebkha de Soliman est à dominance sableuse. Les 3 à 4 premiers mètres sont constitués par des matériaux argileux, vaseux par endroits, très peu perméables et présentant des caractéristiques mécaniques très faibles. La compressibilité de cette formation est assez élevée et les tassements prévisibles seront importants. Cette couche nécessitera une amélioration par une technique qui sera choisie en fonction de la nature et de l'importance des charges qui lui seront transmis et du type d'aménagement projeté. A partir de -4 à -6m du terrain naturel, existe une puissante couche de sable fin jaunâtre assez compacte. Les caractéristiques mécaniques de ces sables s'améliorent avec la profondeur. Vu son caractère pulvérulent, les tassements dans cette formation seront rapides (dissipation rapide des suppressions interstitielles) et peuvent être provoqués par la technique de pré-chargement par exemple.**

TABLEAU RECAPITULATIF DES ESSAIS DE LABORATOIRE

Nature du terrain	K	Scissomètre	Oedomètre				Granulométrie et Sédimentométrie					Limites d'Atterberg		ES	γ_s	γ_d	γ_h	W	Profondeur	Repérage
			Cv (m2/s)	σ_c (bar)	Cc	Co	<2 μ	<0,08	<0,42	>2mm	>5mm	IP	LL (%)							
Argile vaseuse grisâtre	3.43 10 ⁻⁹	10	1.9 10 ⁻⁸	0.43	0.42	1.31	58	95	97	2	1	43	75		2.68	1.16	1.68	45	1.70-2.40	SC1 ECH1
Argile vaseuse grisâtre	5.74 10 ⁻⁸	4	1.7 10 ⁻⁸	0.14	0.70	1.93	26	78	85	6	2	33	61		2.68	0.91	1.53	67	3.00-3.70	SC1 ECH2
Sable fin gris-jaunâtre							3	12	80	12	6				2.67			17	4.55-5.00	SC1 SPT1
Sable fin gris-jaunâtre							4	16	87	10	7				2.67			14	6.40-6.85	SC1 SPT2
Sable fin gris-jaunâtre							2	10	87	10	6				2.67			11	8.00-8.45	SC1 SPT3
Sable fin grisâtre							4	14	87	8	7				2.65			16	9.55-10.00	SC1 SPT4
Sable fin jaunâtre								7	81	18	12				2.66			18	2.00-2.45	SC2 SPT1
Sable fin grisâtre								2	97	2	0			83	2.68			20	4.55-5.00	SC2 SPT2
Sable fin jaunâtre							6	21	98	1	0				2.65			14	7.00-7.45	SC2 SPT3
Sable fin jaunâtre							2	11	93	6	2			51	2.65			17	9.00-9.45	SC2 SPT4
Argile plastique noirâtre	8 10 ⁻⁹	15	1.1 10 ⁻⁸	0.43	0.75	1.99	41	87	94	1	0	40	71		2.68	0.89	1.54	72	1.70-2.40	SC3 ECH1
Sable fin beige jaunâtre							9	19	94	2	0				2.66			20	5.55-6.00	SC3 SPT1
Sable jaune grisâtre							1	6	95	0	0			36	2.67			22	7.00-7.45	SC3 SPT2
Sable jaune grisâtre							9	16	95	0	0				2.70			21	9.00-9.45	SC3 SPT3
Sable fin beige jaunâtre								4	87	3	0				2.68				3.40-3.85	SC4 SPT1
Sable fin beige jaunâtre								3	91	0	0				2.67				5.60-6.05	SC4 SPT2
Sable fin beige jaunâtre								4	91	0	0				2.69				7.10-7.55	SC4 SPT3

Nature du terrain	K	Scissomètre	Oedomètre				Granulométrie et Sédimentométrie						Limites d'Atterberg		ES	γ_s	γ_d	γ_h	W	Profondeur	Repérage
			Cv (m2/s)	σ_c (bar)	Cc	Co	<2 μ	<0,08	<0,42	>2mm	>5mm	IP	LL (%)	%							
Sable fin beige jaunâtre								4	92	0	0					2.68				9.00-9.45	SC4 SPT4
Argile plastique grisâtre	3.3 10 ⁻⁸	28	2.4 10 ⁻⁸	0.21	0.28	0.99	24	53	75	12	6	23	45		2.68	1.34	1.84	37	1.00-1.70	SC5 ECH1	
Sable fin beige jaunâtre							**	1	92	0	0				76					3.20-3.65	SC5 SPT1
Sable fin beige jaunâtre							**	2	98	0	0									6.00-6.45	SC5 SPT2
Sable fin beige jaunâtre							**	1	98	0	0				69					8.00-8.45	SC5 SPT3
Sable fin beige jaunâtre							3	16	83	14	10				25					1.30-1.75	SC6 SPT1
Sable fin beige jaunâtre							**	5	86	10	1									4.00-4.45	SC6 SPT2
Sable fin beige jaunâtre							**	9	88	8	2				41					6.00-6.45	SC6 SPT3
Sable fin beige jaunâtre							**	5	95	3	0									8.40-8.85	SC6 SPT4
Sable fin beige graveleux jaunâtre							**	24	70	26	20									2.55-3.00	SC7 SPT1
Sable fin jaunâtre							**	6	93	0	0									4.55-5.00	SC7 SPT2
Vase molle grisâtre	1.45 10 ⁻⁸	6	1 10 ⁻⁸	0.82	1.10	1.61	46	84	98	0	0	50	88		2.68	1.03	1.56	52	3.30-4.00	SC8 ECH1	
Sable fin beige jaunâtre							**	9	70	0	0									1.00-1.45	SC8 SPT1

1.9 Caractéristiques hydrogéologiques

La nappe qui intéresse cette étude est celle de la plaine de Grombalia. Elle est contenue dans le fossé d'effondrement de Grombalia (figure 8).

Elle s'étend selon une direction sud-est Nord-Ouest depuis les reliefs de Belli jusqu'à la mer. Le bassin versant de cette nappe se caractérise par une pluviométrie moyenne annuelle de 490 mm. Les précipitations annuelles sont irrégulières, les données d'une décennie de 1985/86 à 1995/96, la précipitation annuelle a varié de 204 mm (87/88) à 792 mm (95/96).

Le réseau hydrographique de la plaine de Grombalia est formé essentiellement par les oueds: Belli, El Melah, et Jédida, Jorf, El Bey et Soltane. Ce réseau joue généralement un rôle d'alimentation de la nappe à l'amont (Oueds Belli, El Melah, et Jédida) et de drainage à l'aval (Oueds El Bey et Soltane). Durant les périodes de crues l'Oued El Bey déborde et inonde la plaine au Nord de cordon dunaire pléistocène où il forme une zone d'épandage. A la suite de fortes précipitations, les eaux de l'Oued El Bey se déversent dans la partie sud-ouest de la Sebkh de Soliman (figure 6).

1.9.1 Les formations aquifères de la nappe de Grombalia

Les sédiments quaternaires sont formés essentiellement d'alternances de sables et de passées argileuses contenant de nombreux niveaux aquifères communiquant plus ou moins entre eux et en relation avec la nappe superficielle. La partie Est de la plaine est dominée par des terrains vindoboniens (Miocène) constitués par des grès peu calcaires avec des intercalations argileuses. Au sud-ouest de Grombalia, on trouve, directement en bordure de la plaine, les grès de l'oligocène continental. Le sommet de la série quaternaire est généralement sableux, cependant vers le centre de la cuvette de Grombalia, le Quaternaire devient marneux, gypseux et salifères à partir de 130 m de profondeur et renfermant plusieurs minéraux telle que le gypse, l'halite, les carbonates et le sulfate de magnésium (Castany, 1948).

De point de vue lithologique, le Quaternaire est composé d'alternances de couches perméables sableuses et de couches marneuses relativement imperméables, donne naissance à un empilement de nappes : une nappe phréatique, une nappe semi-profonde et une nappe profonde, exploitées jusqu'à 40 m, 60 m et 200 m, respectivement.

Ces nappes communiquent entre elles, plus ou moins librement, et sont en relation avec la nappe phréatique. Donc, en fait, il s'agit d'une seule nappe compartimentée en niveaux différents, dont le plus élevé est la nappe phréatique. Cette dernière n'est donc pas nettement individualisée et ne représente, en réalité, que la frange capillaire de la formation aquifère du quaternaire de Grombalia (Castany, 1948). Les communications entre ces différents niveaux aquifères s'expliquent par le fait que les couches sableuses surtout importantes en bordure, s'amenuisent en direction du centre de la cuvette.

1.9.2 Alimentation de l'aquifère de la nappe de Grombalia

La lithologie des formations quaternaires est dans l'ensemble perméable ce qui favorise l'**alimentation directe** de la nappe par infiltration. Les zones bordières du fossé d'effondrement d'âge oligocène formées de grès constituent une zone d'alimentation directe la nappe de Grombalia par infiltration des eaux de pluies à travers les couches supérieures. De plus, la dune fossile située en aval de la nappe et en particulier les anciennes carrières constituent une zone d'alimentation directe de la nappe. Des infiltrations secondaires à partir du cordon littoral ont été enregistrées surtout pendant la période d'été (Castany, 1948).

L'**alimentation indirecte** de la nappe de Grombalia est contrôlée par deux facteurs essentiels :

- apports des eaux de ruissellement venant des collines et des montagnes de bordure : les oueds de la rive occidentale (Oueds El Malah, Jedida, Tahouna et Defla) drainant les collines de la Dorsale, contribuent pour une bonne part à l'alimentation de la plaine (Castany, 1948) ;
- alimentation souterraine par les nappes sous jacentes : les formations quaternaires sableuses reposent directement, sans l'intermédiaire d'écran marneux, au Nord-Ouest sur les grès vindoboniens ; au Nord- Est sur les terrains gréseux éocènes, oligocènes et miocènes du Jebel Abderrahman et du Synclinal de Takelsa ; au Sud-Est sur les couches miocènes et à l'Ouest sur le prolongement souterrain des divers étages qui constituent les collines prédorsaliennes.

L'écoulement général de la nappe de Grombalia se fait selon une direction sud-est nord-ouest avec un déversement en mer et en partie dans la Sebkh Soliman.

Figure 8 - hydrogéologique

1.9.3 Ressources et exploitation

Cette plaine est connue en premier lieu par ses activités agricoles intenses. Il s'agit des cultures maraîchères, viticultures, arboricultures, céréalicultures et élevages. Et en second lieu par ses activités industrielles telle que les industries agroalimentaires, textile, laiterie papeterie, ...

Ces activités demandent des quantités importantes d'eaux fournies essentiellement par la nappe quaternaire de la région et les eaux d'irrigation du canal Mejerda-Cap Bon, dont la salinité peut atteindre 3g/l pendant la période d'étiage.

La nappe de la plaine de Grombalia est exploitée par 6667 puits de surface équipés de pompes (D.G.R.E., 1998).

Ces puits puisent annuellement 90 Mm³/an, soit une exploitation de l'ordre de 176% de ses ressources renouvelables estimées à 51 Mm³/an, et 159 forages dont l'exploitation a atteint 10,8 Mm³/an en 1997 (D.G.R.E., 1998).

1.9.4 Fluctuation piézométrique

La surveillance et l'évolution de la surface de la nappe de Grombalia se fait à partir des puits de surface repartis sur toute la plaine. Les relevées du niveau statique se font sur ces puits une fois tous les six mois à la fin de chaque période de hautes et de basses eaux. Ces mesures permettent de suivre l'évolution de la surface de la nappe.

La carte piézométrique élaborée par Castany (1948), montre que le niveau hydrostatique de la nappe s'abaisse progressivement vers la mer de la cote 60 m à la cote 10 m à Soliman.

D'après les études de M. Ennabli (1970), la nappe de Grombalia a subi un abaissement général du niveau piézométrique de plus de 5 m sur la majeure partie de la plaine.

Par comparaison avec les études de Castany (1948) et ceux de M. Ennabli (1971), la nappe de Grombalia a connu un abaissement général du niveau piézométrique de l'ordre de 10 m (Sebei, 2001).

Malgré les opérations de recharge artificielle et l'irrigation par les eaux du canal Mejerda-Cap Bon, la piézométrie de cette nappe a été durant l'année 1998, en baisse générale. La baisse piézométrique 1997-1998 est de l'ordre de 0,2 à 4,6 m. Seulement quelques puits ont enregistré une légère remontée inférieure à 1m (D.G.R.E., 1998).

En 1999, la piézométrie de cette nappe a été en baisse générale. La baisse piézométrique 1998-1999 est de l'ordre de 0,2 m à 4,8 m. Seulement quelques puits ont enregistré une légère remontée inférieure à 0,4m (D.G.R.E., 1999). Cet abaissement général de la nappe est dû à la surexploitation intense qu'a connu cette nappe et surtout durant les quarante dernières années.

Des mesures récentes (janvier 2001) ont mis en évidence le rôle du cordon grésifié pléistocène dans l'alimentation de la nappe dans la région de Soliman. Toutefois, l'écoulement général de la nappe est en direction de la mer et de la Sebkha avec un gradient très faible.

1.9.5 Qualité des eaux de la nappe de Grombalia

1.9.5.1 Salinité de l'eau

En 1948, les études de Castany ont montré que la salinité des eaux de la nappe de Grombalia, varie entre 0,5 g/l et 2 g/l. En 1970, la salinité des eaux de la nappe de Grombalia ne dépasse pas en général 2,2 g/l, elle constituait alors un bon réservoir naturel et alimente la plupart des puits de surface de la plaine (Ennabli, 1970).

En 1998, la salinité des eaux de la nappe de Grombalia varie de 1g/ à 6 g/l (D.G.R.E., 1998) et durant les mois de mai et juin 2000, la salinité des eaux de la nappe de Grombalia, varie de 0,7 à 8,5 g/l à proximité de la mer, ce qui témoigne d'une intrusion marine (Sebei, 2001).

La répartition spatiale de la salinité montre des courbes plus ou moins symétrique par rapport à un axe central passant par Belli-Nianou-Soliman, qui coïncide avec le sens d'écoulement de cette zone (Figure 9 ci-dessous : carte de la salinité des eaux de la nappe de Grombalia (Sebei, 2001)).

Nous pouvons donc conclure qu'actuellement les réserves permanentes de la partie aval de la plaine de Grombalia (environ de la Sebkha) présentent des salinités très élevées qui peuvent dépasser les 8 g/l.

Figure 9 – salinité

1.9.5.2 Teneur en nitrates

Les teneurs en nitrates sont élevées dans certains puits et peuvent atteindre 564 mg/l, dans la partie aval de la plaine (région de Soliman). Ces teneurs sont liées à l'utilisation massive des engrais chimiques rendant ces eaux complètement contaminées, il reste néanmoins quelques puits où les teneurs sont encore faibles et ne dépassent pas 30 mg/l (D.G.R.E., 1999). La carte d'isoteneurs en nitrates, élaborée par Sebei (2001), montre que les teneurs en nitrates augmentent en allant de l'amont vers l'aval de la plaine (Figure 10 ci-dessous : carte des teneurs en nitrate des eaux de la nappe de Grombalia). On peut ainsi distinguer une zone amont où les teneurs sont inférieures à 50 mg/l et une zone aval où les teneurs en nitrates croient pour dépasser les 400 mg/l au milieu des terres agricoles.

On notera également que parallèlement à la dégradation de la qualité des eaux de la nappe côtière par les eaux marines, est venue s'ajouter une autre contamination par les nitrates localisée dans la partie aval de la nappe. Les eaux fortement chargées en nitrates sont la conséquence des pratiques culturales (utilisation de doses massives d'engrais associées à une irrigation intense) et de la climatologie (l'entraînement des nitrates dans les nappes par lessivage des sols serait très important pendant les années pluvieuses).

L'ensemble de ces résultats montre que la nappe étudiée présente des signes de dégradation dans la zone aval de la plaine située entre Soliman et le trait de côte. Cette dégradation, qui s'observe particulièrement au cours des saisons sèches, est associée à une forte salinisation due à la proximité de la Sebkha de Soliman, exutoire naturel de la nappe et ses environs et à la forte contamination par les nitrates.

Figure 10 - nitrates

1.10 Caractéristiques chimiques des eaux et des sédiments de la Sebkh

1.10.1 Cadre général

Située sur la bordure nord orientale du fossé d'effondrement Grombalia-Soliman (orienté Nord-Ouest/Sud-Est) au milieu de la rive sud du golfe de Tunis. La lagune constitue le réceptacle des eaux de surface et profondes des avants monts de la dorsale et des versants Sud-Ouest de Jbel Abderrahman.

Elle est limitée à l'ouest par la route qui mène à Soliman-plage, à l'est et au sud par des terres agricoles et au nord par une dune consolidée. La Sebkh est en communication pérenne avec la mer à travers un grau qui, se trouve partiellement obstrué en saison estivale. Elle est alimentée par :

- Les eaux de ruissellement de Oued El Bey – El Melah, qui prend naissance dans les interfluves des Jbels Serra El Mekki (avants monts de l'extrémité nord est de la dorsale).
- Les suintements des eaux phréatiques des oueds El Bey et Saïd. Si les eaux phréatiques de la plaine occidentale marécageuse sont salées et affleurantes dans le vallon qui assure le drainage des eaux de la plaine en direction de la sebkh, celles de la plaine orientale sablonneuse sont légèrement plus profondes (5m) et de meilleure qualité.
- Les intrusions en grande quantité des eaux marines essentiellement lors de tempêtes.

La majeure partie de la Sebkh se situe au niveau de la mer, excepté la frange Est et Nord où on note une légère élévation du terrain. La Sebkh de Soliman constitue l'exutoire naturel de la nappe de Grombalia. Il est évident que pendant les périodes sèches le niveau de la nappe baisse à cause de son exploitation pour les besoins agricoles. Il en découle que le niveau de l'eau dans la sebkh diminue, mais ne s'assèche pas complètement.

Actuellement, il existe deux sources de rejets d'origine urbaine au niveau de la Sebkh. La première correspond à la STEP de Soliman et la seconde aux eaux de l'oued El Bey.

1.10.2 Campagnes de prospection et de mesure

Dans un premier temps et afin d'avoir une représentation aussi fidèle que possible des phénomènes biologiques et physico-chimiques étudiés, on a mis en place une stratégie d'échantillonnage adaptée aux thèmes et échelles d'observation définis. Aussi afin de bien étudier le milieu et comprendre son fonctionnement, nous avons effectué une série de sorties de prospection, au cours desquelles nous avons localisé les stations de prélèvement qui peuvent nous donner les renseignements les plus pertinents sur la qualité du sédiment et de l'eau, identifié les zones bien conservées et celles qui le sont moins, celles qui sont sous l'influence directe du rejet de la STEP et des apports de Oued El Bey.

Tableau position des stations et dates et heures des prélèvements

Station	X	Y	Date et heure
1	552177.81	381067.02	26/12/01 à 12.35
2	552743.88	381163.70	26/12/01 à 12.45
3	552188.66	380927.31	26/12/01 à 13
4	552377.16	380882.71	26/12/01 à 15
5	551500.00	3817525.00	26/12/01 à 15.30
5S	552175.00	380500.00	02/01/02 à 11
6	551100.00	380175.00	02/01/02 à 11.15
7	552636.80	380807.81	02/01/02 à 12
8	552898.77	380700.67	02/01/02 à 12.45
9	553043.81	380515.75	02/01/02 à 13.35
10	551925.56	381327.80	02/01/02 à 15.55
11	554325.36	381161.90	08/01/02 à 13.30
12	554201.30	380990.15	08/01/02 à 13.25

Suite à l'élaboration du plan d'échantillonnage, trois campagnes ont été effectuées les 26/12/2001, 02/01/2002 et 08/01/2002 au cours desquelles ont été effectuées des mesures et des échantillonnages dans l'eau et dans les sédiments couvrant l'ensemble du plan d'eau. La localisation des stations a été effectuée à l'aide d'un GPS.

Les campagnes de mesure se sont déroulées en saison hivernale. Les résultats des analyses ne reflètent que l'état de la sebkh durant cette saison. Il est également important de signaler que ces campagnes de mesures, ont été précédées de jours de pluies, ce qui pourrait être considéré comme avantageux pour les résultats trouvés, puisque suite à une période pluvieuse il y a un brassage de la colonne d'eau (milieu peu profond), et remise en suspension des sédiments.

Les mesures ont été effectuées sur le terrain sont les suivantes : Température, Salinité, Oxygène dissous O₂, pH, Potentiel d'oxydoréduction (Eh), Conductivité. Les autres éléments ont été analysés au laboratoire.

Carottage :

Les carottes prélevées lors de la campagne géotechnique ont démontré la présence de trois horizons :

- à la surface, on retrouvera une couche argileuse plus ou moins vaseuse. En fonction du confinement du secteur, celle-ci présentera une profondeur de 0,7 à 3,5 mètres ;
- une formation de sables fins grisâtres de 0,5 à 2,2 mètres d'épaisseur ;
- puis une couche d'environ 20 mètres de sables fins jaunâtres.

La nappe se trouve à environ - 0,3 mètres de profondeur.

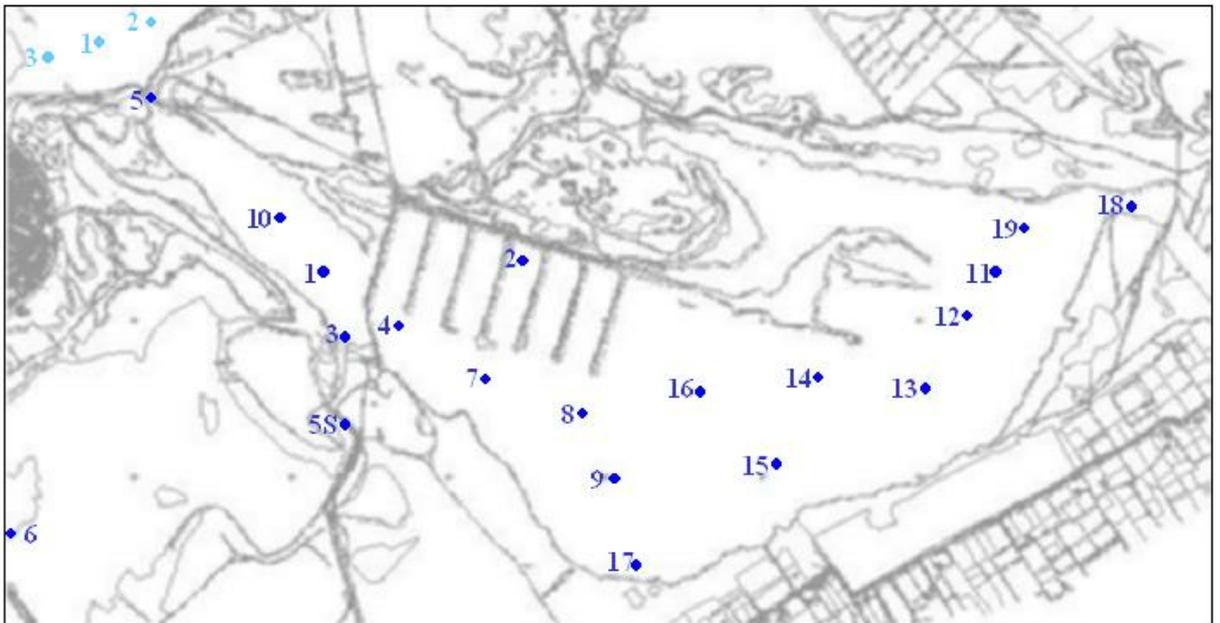


Fig. n°11 : Localisation des stations de prélèvement

●	Station de prélèvement à l'intérieur de la seabkha
●	Station de prélèvement en mer

1.10.3 Caractéristiques chimiques du sédiment

Les analyses des sédiments ont porté sur le pH, le Eh, la matière organique totale (MOT), le carbone organique total (COT), l'azote total, le phosphore total et les métaux lourds. pH et Eh ont été mesurés à l'aide d'une sonde de terrain, le COT a été analysé par calcination à 525°C suivant Rodier. L'azote total a été analysé selon la méthode de Kjeldahl modifié selon NF ISO 11261 (juin 1995). Les métaux et le phosphore ont été mesurés après minéralisation des sédiments aux micro-ondes grâce à la spectroscopie d'émission atomique avec plasma couplé par induction, selon NF EN ISO 11885 (mars 1998).

pH : Le pH des sédiments superficiels avoisine presque toujours celui de l'eau de mer (8,2), sauf dans les stations 1, 10 et 7 où il devient légèrement acide, probablement à cause des réactions biogéochimiques dans le sédiment.

Eh : Les valeurs négatives du potentiel d'oxydoréduction reflètent un état réducteur du sédiment, où les sulfures abondent (gaz sulfureux et sulfures métalliques). De tel état conduit à l'absence totale de la faune benthique et l'abondance des Ulves (notamment dans les stations 1, 3 et 7).

Carbone Organique Total : 40% du sédiment est formé par du carbone organique. Ce pourcentage diminue dans les stations 10 et 13 où il devient respectivement égal à 27 et 20%. La richesse du sédiment en carbone organique a comme origine très vraisemblablement les rejets de la station d'épuration entre autre.

Azote total : La concentration de l'azote total est très importante au voisinage du canal de rejet de la station d'épuration de part et d'autre elle diminue. Cette configuration reflète l'impact des apports du canal sur les concentrations des matières nutritives solides dans le sédiment de la lagune.

Phosphore total : Contrairement au carbone et à l'azote, le phosphore montre une répartition irrégulière dans le sédiment. Cette dernière traduit une origine mixte du phosphore. Les faibles concentrations du phosphore et de l'azote par rapport au carbone organique montre que ces éléments ont subi une dégradation fractionnée (probablement dans la station d'épuration et au cours du transport).

Les métaux lourds : En ce qui concerne les métaux lourds, il n'existe pas des teneurs naturelles standards avec lesquelles, on peut évaluer la contamination du sédiment due aux apports anthropiques dans un milieu récepteur. En effet, ces teneurs naturelles peuvent varier d'un bassin naturel à un autre en fonction des apports des sédiments; par exemple la granulométrie des sédiments et la nature des roches érodées dans le bassin versant sont les principaux facteurs déterminant les teneurs naturelles des métaux lourds dans le milieu récepteur. Toutefois, ces teneurs naturelles peuvent être estimées dans le milieu par les analyses des métaux lourds dans les niveaux profonds des carottes qui ne sont pas affectés par la pollution humaine, voire même dans les sols du milieu non exposés aux apports anthropiques. La distribution des métaux lourds ressemble à celle du carbone organique et l'azote. Ce fait indique que ces métaux sont surtout associés à la matière organique et qu'ils ont la même origine. Il existe deux zones où les concentrations en métaux sont très élevées :

- l'une correspond à l'embouchure de la petite anse par laquelle s'écoulent vers la sebkh une partie des eaux de oued El Bey et les eaux traitées de la STEP (station 3) et à partir de laquelle les concentrations diminuent ;
- la seconde correspond au centre du bassin oriental de la sebkh (station 9). Cette élévation des teneurs en métaux pouvant être expliquée d'une par sa position à proximité d'un drain mais également par sa position centrale qui lui confère une fonction d'ombilic hydraulique dans laquelle s'accumulent les fines et les métaux qui lui sont associées.

On notera que les métaux présentent des teneurs élevées surtout en ce qui concerne le zinc et le chrome, ce qui illustre bien le degré de la contamination des eaux et des sédiments charriés par le réseau hydrographique du bassin versant. Cette contamination étant imputable aux industries établies sur l'ensemble du bassin versant de la sebkh. Le caractère récent de cette contamination est d'ailleurs prouvé par l'évolution verticale de la contamination dans les sédiments puisque celle-ci diminue en fonction de la profondeur.

Exemple d'évolution verticale des contaminants

(en mg / kg de matière sèche)

Elément	Niveau supérieur	Niveau intermédiaire	Niveau inférieur
Co	11	9,88	6,69
Cu	15,1	10,3	15,2
Pb	19,9	18	10,6
Ni	23,4	21,3	12,8
Zn	93,4	80,8	53,3
Cr	108	69,8	29,4

1.10.4 Qualité des eaux de la Sebkha

1.10.4.1 Salinité

Les résultats des mesures de la salinité montrent deux gradients de salinité au niveau du plan d'eau. En effet, c'est au niveau de la station 3 qui correspond à l'exutoire de la petite anse dans laquelle se déversent les eaux traitées de la STEP de Soliman que l'on rencontrera la salinité minimale relevée dans cette campagne (2,7 g/l). Les valeurs maximales sont enregistrées au niveau du grau, mais également à l'autre extrémité de la sebkha sans pour autant dépasser 27 g/l. On se retrouve en définitive avec deux gradients croissants de salinité, tous deux à partir de la station 3 respectivement vers le grau et vers les confins orientaux de la sebkha.

Les valeurs de salinités enregistrées permettent d'avoir une idée sur la salinité moyenne de la sebkha en période hivernale qui est de 12 g/l dans le bassin Ouest et de 27 g/l dans le bassin Est. Cette différence de salinité est due d'une part aux apports d'eaux douces provenant de Oued El Bey et de la STEP qui se déversent dans le bassin Ouest et d'autre part à l'évaporation à laquelle est sujet le plan d'eau Est où la lame d'eau est de faible épaisseur et à des apports hydriques relativement réduits.

En définitive, les eaux de la Sebkha sont caractérisées par des salinités peu différentes, allant de l'eau douce (Stations 3, 5S et 6), à l'eau saumâtre au niveau des stations (1, 2, 4, 7 et 10) et à l'eau salée dans les stations (8, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18 et 19).

1.10.4.2 pH

Le **pH** des eaux naturelles dépend essentiellement de la photosynthèse et de la respiration des organismes. Toutefois, la pollution des eaux par les détergents contribue à augmenter de manière significative le pH de ces dernières qui augmente sous l'influence de la photosynthèse et diminue avec la respiration.

Les valeurs enregistrées varient de 6,6 au niveau de la station 3, augmentent légèrement ensuite au niveau des stations 1, 4 et 5, et se stabilisent à 8,6 au niveau du reste de la zone. Le pH basique de ces eaux serait essentiellement dû à la photosynthèse, puisqu'au niveau des stations de l'est de la lagune nous avons observé une prolifération de microalgues de la famille des diatomées.

L'eau de la station 3 qui correspond à l'exutoire de la petite anse dans laquelle se déversent les eaux traitées de la STEP et les eaux de Oued El Bey est caractérisée par un pH légèrement acide (6,6) et il semble que ces eaux ont une influence sur le pH des stations avoisinantes comme c'est le cas des stations 1 et 4, dont les valeurs de pH sont respectivement 7,8 et 7,9.

1.10.4.3 Oxygène dissous

La concentration de l'oxygène dissous dans une eau dépend de la salinité, de la température et des charges de matière organique et minérale dans cette eau.

Pour ce paramètre il est important de signaler la différence qui réside entre les valeurs d'O₂ dissous enregistrées au niveau des stations 3 et 5 où il s'agit d'une anoxie totale du milieu (0 et 1 mg/l) et les stations 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, et 19 où l'on a un état de sursaturation très prononcé.

Cette sursaturation est due à la présence des Ulves en grande quantité pour les stations du bassin Ouest et au bloom phytoplanctonique pour les stations du bassin Est, alors que l'anoxie enregistrée au niveau des stations 3 et 5 est due aux eaux chargées provenant de la STEP et de Oued El Bey.

1.10.4.4 Turbidité

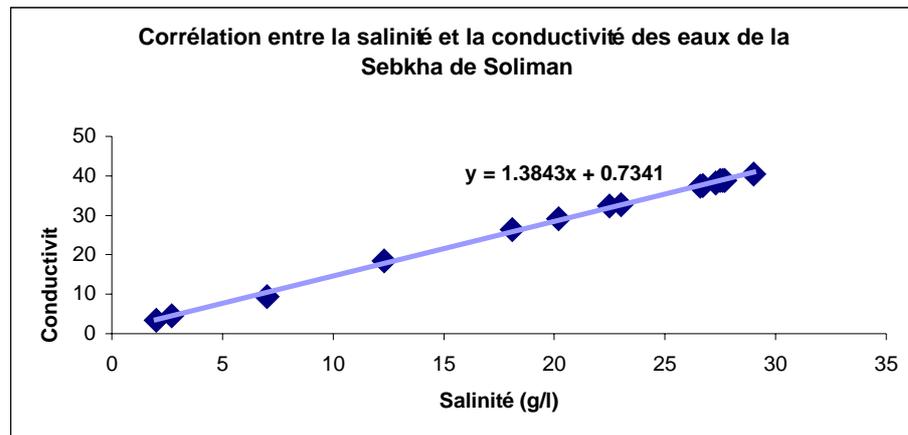
En plus des substances dissoutes, les eaux lagunaires contiennent des matières en suspension, de toutes tailles et de toutes formes, minérales ou organiques, vivantes ou détritiques, de nature soit biogénique (bactéries, phytoplancton, soit terrigène (apports fluviaux, produits d'érosion...), soit éolienne (particules transportées par les vents et tombant dans l'eau).

Pour ce qui est de la Sebkha de Soliman, les matières en suspension dans les eaux de ces stations sont essentiellement dues à la remise en suspension du sédiment dans cette faible tranche d'eau. Ainsi, les valeurs de la turbidité mesurée sont en étroite relation avec la profondeur de la station en question. En effet, les stations les plus profondes montrent des valeurs de turbidité relativement faibles par rapport à celles où la profondeur n'est que de 20cm. Les valeurs de la turbidité au niveau des stations 11, 12, 13, 14, 15 et 16 sont élevées en raison de la forte concentration du phytoplancton remarquable à la couleur brune des eaux.

1.10.4.5 Conductivité électrique

La conductivité électrique d'une eau exprime son degré de minéralisation. Les mesures de conductivité effectuées in-situ montrent que la valeur enregistrée la plus élevée est d'environ 40 mS/cm et le minimum est de 3,38 mS/cm au niveau de la station 5S.

D'une manière générale la variation de la conductivité est identique à celle de la salinité en raison de la très forte corrélation entre ces deux paramètres comme le montre la figure suivante (le coefficient de corrélation est de 0,99).



1.10.4.6 Potentiel d'oxydoréduction

Le potentiel d'oxydoréduction (Eh) exprime l'état d'oxydation du milieu (Eh positif = milieu oxydé, Eh négatif = milieu réduit). Le Eh dépend des couples d'oxydoréduction présents dans le milieu. Une eau naturelle aérée en équilibre avec l'azote atmosphérique est caractérisée par un Eh dépendant essentiellement du couple $\text{NO}_3^-/\text{NO}_2^-$. En effet, les concentrations les plus élevées d'azote sont celles des nitrates dans cette eau.

Le potentiel d'oxydoréduction (Eh) est variable dans les eaux de la Sebkha. Les stations 3 et 5S montrent des Eh négatifs (-300 mV et -305 mV) traduisant un état réduit des eaux. Toutes les autres stations sont caractérisées par des eaux très oxydées, avec des Eh positifs allant de +10,18 mV à +88 mV.

Au niveau des stations 3 et 5S les teneurs en oxygène dissous sont faibles, et par conséquent, ces eaux doivent contenir des substances réductrices qui sont responsables de l'état réducteur des eaux. Ces faibles valeurs de Eh doivent normalement favoriser l'accumulation des ions NH_4^+ et des phosphates. Les concentrations d'ions NO_3^- doivent être très faibles. D'après le tableau de classification des eaux en fonction de leurs Eh et pH, les eaux des stations 1 et 3 sont qualifiées de nauséabondes.

1.10.4.7 Demande biochimique en oxygène DBO5

L'étude de ce paramètre nous permet d'avoir une idée sur la contribution des microorganismes aérobies dans la dégradation de la matière organique présente dans l'eau. D'une façon générale, les concentrations élevées en DBO5 témoignent d'une pollution anthropique. Les résultats des analyses montrent que dans les eaux de la Sebkha, les valeurs de DBO5 fluctuent entre 4 et 36 mgO_2/l . Ces valeurs sont faibles dans leur globalité.

1.10.4.8 Demande chimique en oxygène DCO

La DCO est un indicateur de pollution chimique des eaux. Les analyses de la demande chimique en oxygène (DCO), effectuées présentent des valeurs comprises entre 106 mgO_2/l et 278 mgO_2/l . Ces paramètres de mesures de la qualité des eaux traduisent la quantité des matières organiques biodégradables (DBO_5) et biodégradables ou non (DCO) dissoutes dans une eau. Généralement, les résultats obtenus obéissent à cette inégalité $\text{DBO}_5 < \text{DCO}$. Nous avons évoqué dans le paragraphe oxygène la relation existante entre l'oxygène dissous et les concentrations de ces paramètres. Par ailleurs, on remarque que les valeurs de DCO sont deux fois supérieures à celles de DBO_5 dans les stations à faible salinité. Ceci reflète la présence de fortes concentrations de matière organique peu ou pas biodégradable dans ces eaux. L'ensemble des résultats indique que les eaux de la Sebkha sont riches en matières organiques, et par conséquent, elles sont susceptibles d'être le siège d'une prolifération bactérienne, en particulier, pour les eaux oxygénées.

1.10.4.9 Les Nutriments

Les sels nutritifs représentent la principale source pour le développement des macro et microphytes. Les sels les plus indispensables sont : l'azote, le phosphore, le carbone et le silicium. **L'azote** est présent dans les eaux marines et lagunaires, sous sa forme inorganique (**Nitrites** NO_2^- , **Nitrates** NO_3^- et **Ammonium** NH_4^+) et **inorganique**. La partie inorganique du phosphore est présente sous forme d'orthophosphates PO_4^{2-} . Ces formes sont utilisées par les plantes pour la production primaire et sont régénérées par les activités bactériologiques. Leurs concentrations sont généralement faibles dans les eaux de surface.

Azote ammoniacal (N-NH₄) : cette forme de l'azote est la première issue de l'oxydation de la matière organique. L'examen des résultats des analyses de l'eau effectué en laboratoire montre que la forme ammoniacale de l'azote participe dans la composition azotée totale avec un taux de 70%. Cette teneur en ammoniacale est due aux apports en eaux usées brutes apportées par oued El Bey et des eaux partiellement traitées provenant de l'ancienne station d'épuration de Soliman. En négligeant l'oxydation de l'azote ammoniacal, on remarque que la plus forte concentration en NH_4^+ (2,7 mg/l) se rencontre dans les eaux de la station 3. Cette concentration est proche de la norme de rejet dans le domaine hydraulique. Globalement, en se référant aux normes dans les eaux de distribution (0,5 mg/l) et à la concentration dangereuse de NH_4^+ pour la vie aquatique (2 mg/l à pH = 7,4-8,5), on constate que les eaux de la Sebkha reflètent une certaine contamination par NH_4 . Enfin, la principale remarque à signaler est relative au fait que les concentrations de l'azote ammoniacal dans les eaux de la sebkha (0,980mg/l) sont très importantes par rapport à celle de la mer (0,054mg/l).

L'azote nitrique (N-NO₃) : c'est la forme de l'azote assimilable par le premier maillon de la chaîne trophique, en l'occurrence le phytoplancton. L'azote nitrique (N-NO₃) révèle des teneurs allant de 0,107 à 0,525 mg/l, avec des teneurs relativement élevées au niveau de la zone centrale de la lagune, entre Oued El Bey et le grau. Ces valeurs sont relativement élevées par rapport à celles de la mer avoisinante où les nitrates évoluent autour de 0,030mg/l alors que la moyenne de la lagune est à 0,204mg/l. La distribution spatiale des concentrations en nitrates montre que les concentrations les plus élevées se situent au niveau de la station 3 où la valeur la plus élevée est de 0,525 mg/l. Les concentrations diminuent en allant vers la mer et vers l'intérieur de la Sebkha.

L'azote nitreux (N-NO₂) : c'est la forme intermédiaire entre les nitrates et l'ammoniacale dans le cycle de l'azote. Les teneurs moyennes en nitrites sont considérées comme faibles par rapport aux eaux stagnantes, avec une moyenne de 0,053 mg/l, mais toujours supérieures à celles de la mer en face dont la moyenne est de 0,04 mg/l. Les teneurs enregistrées ont marqué une valeur extrême au niveau de la station 3. Comme pour les nitrates les teneurs relativement élevées se situent au niveau de la zone centrale, confirmant l'influence des rejets de la STEP et de Oued El Bey.

Les orthophosphates : Les teneurs en phosphates sont aussi élevées avec une moyenne de 0,978mg/l, avec une fluctuation de 0,203 à 2,534 mg/l, les teneurs sont élevés aussi bien dans la zone centrale (stations : 3-4-5-6-7) que vers le grau (station 1-2). Les valeurs relevées en mer sont assez faibles (0,033 mg/l). L'origine des phosphates dans ces eaux peut être due à la dégradation bactérienne de la matière organique dans l'eau et le sédiment et les rejets des eaux domestiques et industrielles, riches en détergents et autres composés phosphorés. Les concentrations des phosphates dans les eaux de la Sebkha sont telles qu'elles permettent le développement des algues et surtout le phytoplancton, puisque les concentrations des éléments azotés sont elles même élevées. Par ailleurs, on admet que des concentrations supérieures à 0,05-0,1 mg/l entraîneraient l'eutrophisation du milieu.

Les silicates : La silice dans l'eau naturelle a pour origine l'altération des roches, la dissolution biogénique et la dégradation de la matière organique. Les concentrations de la silice dans les eaux de la Sebkha montrent un maximum au niveau des stations du bassin Est de la sebkha (environ 55 mg/l) alors que les valeurs minimales d'environ 9 mg/l sont observées au niveau des stations extrêmes de ce même bassin (station 17, 18, 19). Donc, en écartant la pollution des eaux par la silice, on pourrait expliquer l'excès de silice dans les eaux basiques par la dissolution des tests siliceux dans le sédiment (Diatomées). Quoiqu'il en soit, par rapport aux nitrates et l'azote ammoniacal, la silice ne constitue pas un danger pour l'environnement de la Sebkha, puisqu'en admettant que la concentration normale de silice dans l'eau est de 40 mg/l, on remarque que les stations (7,8 et 9) sont riches en silice, et ceci vient confirmer la présence d'un bloom de diatomées qui donne aux eaux leur couleur brune.

Chlorophylle (a) : L'étude des teneurs en chlorophylle (a) (comme l'azote, le phosphore et la turbidité), permet d'apprécier le degré d'eutrophisation des eaux. La chlorophylle présente deux origines, phytobenthique et phytoplanctonique. Les teneurs en chlorophylle (a) sont assez élevées dans l'ensemble de la lagune, la moyenne y est de 26,3µg/l, avec un maximum de 121,6µg/l, ceci traduit une forte production primaire concrétisée durant la période d'étude par des blooms de diatomées. La production primaire chlorophyllienne est plutôt concentrée du côté est de la lagune (stations : 13-14-15-16-17-18-19).

1.10.4.10 Analyse bactériologique

L'analyse bactériologique d'une eau de consommation ou de baignade, consiste en la recherche de micro-organismes pathogènes qu'elle peut contenir. La très grande majorité des micro-organismes pathogènes sont rejetés dans l'eau par les matières fécales ou les urines. Aussi, il est simple d'estimer la possibilité de leur présence en recherchant les germes fécaux qui les accompagnent et qu'on appelle pour cette raison des germes tests de contamination fécale.

Les résultats des analyses bactériologiques des eaux de la sebkh, montrent une forte contamination bactérienne due essentiellement au rejet des eaux traitées de la STEP et aux eaux de mauvaise qualité charriées par Oued El Bey. Au niveau de la station 3 dans laquelle les eaux sont de mauvaise qualité, nous avons relevé les résultats suivants :

Analyses	Unités	Station 3
Coliformes totaux	Germes / 100 ml	15 . 10 ⁴
Coliformes fécaux	Germes / 100 ml	93 . 10 ²
Streptocoques fécaux	Germes / 100 ml	46 . 10 ³
<i>Escherichia coli</i>	Germes / 100 ml	21 . 10 ⁴

1.10.4.11 Les hydrocarbures, les pesticides et les composés phénoliques

L'analyse des différents polluants, à savoir hydrocarbures, pesticides et composés phénoliques n'ont démontré aucune contamination, les résultats des analyses étant soit inférieurs au seuil de détection soit largement inférieures aux normes de rejet dans le milieu naturel

1.10.4.12 Les éléments majeurs

Dans les eaux échantillonnées au niveau de la sebkh de Soliman, nous avons réalisé l'analyse de différents éléments dans l'eau de la lagune. Ces constituants sont ; le sodium, le potassium, le calcium, le magnésium, les sulfates, les carbonates et bicarbonates. Les concentrations de ces différents composés comparées à celles trouvées dans une eau de mer de composition moyenne sont rapportées dans le tableau suivant :

Ion	Concentration dans une eau de mer de composition moyenne (mg/l)	Concentration moyenne dans la Sebkh (mg/l)
Na	10550	9370
K	380	360
Ca	400	353
Mg	1270	991
SO ₄	2640	2060
HCO ₃	380	409

D'après le tableau ci-dessus, on remarque que la composition des eaux de la sebkh est peu différente de celle de l'eau de mer. Les éléments majeurs analysés montrent une augmentation des concentrations du sodium, potassium, calcium, magnésium et sulfates et une diminution des carbonates en passant des stations d'eaux douces vers les stations marines. Cette tendance reflète le passage d'une eau douce à une eau marine.

1.10.5 Eau de mer

Les caractéristiques des eaux marines en face de la sebkh sont les mêmes que celles du golfe de Tunis. En effet, les différents paramètres dans les eaux marines montrent des résultats plus homogènes que ceux dans la Sebkh.

La salinité de l'eau de mer est d'environ 35 g/l, le pH est autour de 8,2 (pH normal des eaux marines). L'oxygène dissous varie entre 6 et 7.5 mg/l et le potentiel d'oxydoréduction positif, varie de +26 mV à +73 mV.

Les teneurs des eaux marines en nitrates et en nitrites sont respectivement de 0,1 mg/l et 0,07 mg/l. Ces éléments sont de bons indicateurs de la contamination du milieu, par des rejets d'eaux usées urbaines ou provenant des industries agro-alimentaires établies sur le bassin versant de la Sebkh.

En ce qui concerne l'ammonium dans le milieu marin, les concentrations moyennes sont de 0,054 mg/l. La présence de ces ions indique une dégradation incomplète de la matière organique, de plus cet élément a pour origine la matière végétale peuplant les cours d'eau, la matière organique animale ou humaine, des rejets industriels et les engrais azotés.

Le phosphore, comme l'azote est un constituant important de la matière vivante. En l'absence de toute source de pollution le phosphore est présent dans les eaux superficielles avec des concentrations très faibles. Dans notre zone d'étude les teneurs en orthophosphates sont d'environ 0,002 mg/l.

Par rapport à une eau de mer normale, les concentrations des différents sels nutritifs ne sont pas très élevées. Ceci peut être expliqué par la dispersion des eaux provenant de la sebkha sous l'effet de l'hydrodynamisme en face du grau. En effet, à ce niveau on s'attend à trouver des valeurs élevées en rapport avec la qualité de l'eau de la sebkha.

1.10.6 Conclusions

- **Les apports anthropiques ont une grande influence sur la qualité des eaux et des sédiments de la sebkha. Si sur le plan hydrologique, la pérennité du plan d'eau est assurée, la contamination est toutefois très visible que ce soit au niveau des eaux que des sédiments. Cette contamination récente est localisée dans le « réceptacle » des eaux chargées de Oued El Bey et des eaux traitées de la STEP ainsi qu'au niveau d'un ombilic hydraulique situé au niveau central du bassin oriental de la sebkha. Ces caractéristiques ne sont pas encore défavorables à la richesse ornithologique du site mais ont déjà contribué à la détérioration de l'écosystème aquatique (voir chap. 2.3). Le classement de la sebkha ne pourra être justifié et les actions de protection engagées ne sauront être efficaces si une stratégie de dépollution n'est pas adoptée afin de corriger la pollution latente de cet écosystème et de parer aux pollutions additionnelles potentielles pouvant être générées à partir des activités humaines sur le bassin versant.**

2. VALEURS BIOLOGIQUES ET ECOLOGIQUES DE LA SEBKHA

2.1 La flore terrestre de la Sebkha de Soliman

2.1.1 Introduction

La végétation de la Sebkha se caractérise par une dominance d'espèces vivaces halophiles (telles *Halocnemum strobilaceum*, *Arthrocnemum indicum*, *Salicornia arabica*, *Suaeda fruticosa*) qui se répartissent à la périphérie de la Sebkha. En s'éloignant vers l'extérieur, les plantes halophytes cèdent la place à un couvert représentatif des sols sableux ou limoneux argileux à structure grossière et fine.

La sansouire entourant la Sebkha est une plaine peu salée et marécageuse où les conditions de submersion sont très accentuées. Selon Novikoff (1961), cette dernière a un caractère géomorphologique de plaine inondable mal drainée, établissant la transition avec le type Sebkha. La Sebkha de Soliman appartient à l'étage bioclimatique semi-aride supérieur à hiver doux recevant une pluviométrie moyenne de 300-450 mm.

Les sols de la Sebkha de Soliman sont en majorité des sols halomorphes, caractéristique liée à la présence de l'ion sodium sous forme saline avec la présence dans certaines zones, d'un dépôt sédimentaire salin ou encore de roches éruptives riches en minéraux sodiques. Ces sols salins sont soumis à l'influence d'une nappe salée peu profonde et riche en sels de sodium. La conductivité électrique en surface varie de 4 à 10 millimhos/cm à 150°C. Le sel remonte par capillarité et forme des efflorescences blanches en surface. Le profil est de type AIC. Le pH est inférieur à 8. Ces sols salins agissent sur les plantes par leur pression osmotique élevée qui nuit à l'absorption de l'eau par les végétaux non halophiles. Les halophytes ou plantes liées aux sols halomorphes, se distinguent des autres végétaux dits glycophytes (qui poussent sur les sols non salés) essentiellement par les caractères suivants : économie de l'eau, pression osmotique et contrôle de l'absorption de l'excès de sel.

Les formations végétales de la Sebkha n'ont jamais fait l'objet d'analyses phytoécologiques. Toutefois à la lumière de l'expertise floristique réalisée dans le cadre de cette mission et des caractéristiques physico-chimiques du milieu, on peut affirmer que le cortège floristique de Soliman est formé de trois groupements végétaux situés dans quatre zones distinctes en allant de la périphérie de la Sebkha vers le centre de la dépression.

2.1.2 Communautés végétales

2.1.2.1 La première zone

Cette zone se caractérise par une hydromorphie superficielle et un sol salé à texture fine. Cette zone est un lieu de développement des plantes halophiles pérennes, avec un degré de recouvrement dépassant les 85%. Les halophytes ont des comportements hydriques très divers :

- Certaines espèces, comme les Salicornes et la Soude (*Suaeda*), transpirent peu et maintiennent un taux d'hydratation élevé dans les feuilles ou les tiges. Le degré de succulence augmente avec la concentration en chlorure du milieu. Il s'agit d'une action spécifique des ions chlorures.
- Beaucoup d'halophytes succulents, comme les Salicornes, qui accumulent les sels absorbés et l'eau, évitent ou ralentissent l'élévation de la concentration saline interne en augmentant leur succulence. Cette zone est caractérisée par le groupement d'*Arthrocnemum indicum* et *Suaeda fruticosa*, présente dans des sols à texture moyenne à fine, salé tendant à être alcali qui se distingue par la présence d'espèces indicatrices d'une salinité et d'une hydromorphie élevée.

Les plantes caractérisant cette zone sont essentiellement des chénopodiacées indicatrices d'une salinité élevée (*Arthrocnemum indicum* et *Suaeda fruticosa*), des dipsacées (*Echium maritimum*) et des méliacées (*Mesembryanthemum edule*). Une caractéristique notable des différentes espèces pérennes et annuelles et leurs répartitions hétérogènes. Le tapis des annuelles se développe essentiellement dans et aux alentours immédiats des touffes des halophytes laissant le sol quasiment nu entre ces touffes. On peut signaler aussi la présence du roseau, *Phragmites communis*, près des plans d'eaux de la Sebkha.

L'inventaire des espèces recensées dans la première zone est répertorié dans le tableau suivant :

Espèce	Famille	Nom vernaculaire français	Nom vernaculaire arabe
<i>Echium maritimum</i>	Dipsacées	Vipérine	
<i>Arthrocnemum indicum</i>	Chenopodiacées	Arthrocnème	Hmadh
<i>Suaeda fruticosa</i>	Chenopodiacées	Soude	Suida
<i>Salicornia arabica</i>	Salicacées	Salicorne	

2.1.2.2 La deuxième zone

Cette Zone établit le passage entre un paysage à végétation halophile et une végétation de bourrelets éoliens de bordure de Sebkhas. Sur les dunes bordières qui logent la côte au débouché de la plaine de Soliman, les sols sont squelettiques, peu ou pas évolués, car le sable est souvent à vif et soumis à l'influence éolienne. La grande perméabilité aggrave encore la difficulté de différenciation. Sur cet ensemble de sol perméable et salé, la végétation est souvent naine et maigre, ne dépassant guère deux mètres. Elle est caractérisée essentiellement par la présence du *Juncus acutus* et des touffes de Chénopodiacées tel que l'*Atriplex rosea* et *Salsola kali* tolérant une gamme étendue de salinité et caractéristique d'une hydromorphie faible à moyenne. On y trouve également une espèce psammophyte (*Retama retam* subsp *duriaei*) appartenant à la familles des résédacées, très bien répartie dans la zone nord du Sebkha de Soliman. Cette deuxième zone présente aussi de l'*Asphodelus microcarpus* et du *Thymus capitatus*, réparties d'une façon hétérogène sur les sols sableux la partie nord de la Sebkha, quelques pieds de *Nicotiana glauca* se trouvent au bord des rares pistes au nord ouest du site.

Il est à signaler aussi la présence dans cette zone d'autres espèces halophiles des bourrelets éoliens de bordure de Sebkha tel que *Senecio bicolor*, *Rhamnus lycioides*, *Limoniastrum monopetalum* et *Juniperus oxycedrus*. Cette zone est caractérisée par le groupement de *Juncus acutus* et *Retama retam*, caractériser par la présence d'espèces pérennes, psammophiles et la présence de touffes de chénopodiacés tolérant une gamme étendue de salinité. On signalera également la présence de l'espèce introduite *Mesembryanthemum edule* appelée également *Carpobrotus edulis*, espèce envahissante psammophile.

Espèce	Famille	Nom vernaculaire français	Nom vernaculaire arabe
<i>Senecio bicolor</i>	Seneçon	Scrophulariacées	
<i>Asphodelus microcarpus</i>	Asphodèle	Liliacées	Berouag
<i>Retama retam</i>		Resedacées	Rtem
<i>Nicotiana glauca</i>	Tabac	Myrtacées	
<i>Rhamnus lycioides</i>		Ramnacées	
<i>Juncus acutus</i>	Jonc pointu	Joncacées	Smar
<i>Limoniastrum monopetalum</i>	Faux-limonium	Plumbaginacées	Zita
<i>Thymus capitatus</i>	Thym	Thymelacées	Zâtar
<i>Juniperus oxycedrus</i>	Genévrier de phénicie	Cyperacées	Arâr
<i>Juniperus phoenicia</i>	Genévrier de phénicie	Cyperacées	Arâr
<i>Pistacia lentiscus</i>	Lentisque	Cyperacées	Dhirow
<i>Atriplex rosea</i>	Pourpier	Chenopodiacées	Gtaf
<i>Calicotome villosa</i>	Calycotome	Légumineuses	Guandoul
<i>Salsola kali</i>	Soude	Chenopodiacées	Suïda
<i>Phoenix dactylifera</i>	Palmier	Palmacée	Nkhal
<i>Mesembryanthemum edule</i>	Ficoïde	Meliacées	Charbabou

2.1.2.3 La troisième zone

Elle est caractérisée par une hydromorphie, une salinité faible et un sol à texture légère. Sur ces sols se développent deux solanacées à savoir le *Lycium arabicum* et le *Solanum sodomaeum* et une composée, *Inula viscosa*, ces deux dernières ayant un comportement rudéral qui a un comportement plutôt rudéral. Cette zone est caractérisée par le groupement végétal du *Solanum sodomaeum* et d'*Heliotropium bacciferum*.

Espèce	Famille	Nom vernaculaire français	Nom vernaculaire arabe
<i>Solanum sodomaeum</i>	Solanacées	Pomme de Sodome	Tufah El Ghoul
<i>Heliotropium bacciferum</i>	Boraginacées	Héliotrope	
<i>Inula viscosa</i>	Composées		
<i>Myoporum laetum</i>	Myoporacées	Myoporum	
<i>Lycium arabicum</i>	Solanacées	Lyciet d'arabie	Sakoum

2.1.2.4 La quatrième zone

Cette zone concerne la partie agricole du sud de la Sebkha. Les terrains de cette zone sont cultivés en olivettes, agrumes, céréalicultures et cultures maraîchères (piment, tomate, laitue et chou-fleur. Les limites de ces parcelles agricoles sont matérialisées par des haies de myoporum de lentisque, de mimosa (*Acacia rutinodes*) et d'eucalyptus, ces arbres et ces arbustes sont utilisés aussi pour certaines parcelles comme brise vent. Les labours sont parfois entrepris sous les arbres, ce qui provoque un déchaussement avec d'autant plus de vigueur que ces labours sont conduits sans tenir compte des pentes. Les labours occupent également de grandes surfaces sur les édifices dunaires et cela au détriment de la végétation naturelle.

2.1.3 Statut des espèces

2.1.3.1 Endémiques

Nous n'avons pu identifier à travers la recherche bibliographique ou les investigations de terrain d'espèces endémiques.

2.1.3.2 Rares

Phragmites communis, *Limoniastrum monopetalum*, *Solanum sodomaeum*, *Nicotiana glauca*.

2.1.3.3 Remarquables

- à valeur économique : *Juncus acutus* est utilisé pour la confection des nattes, *Phragmites communis* est utilisé comme haies vives ou mortes ou pour la confection de toitures de cabanes ;
- abondantes : *Juncus acutus*, *Arthrocnemum indicum*, *Salicornia arabica*, *Suaeda fruticosa*, *Retama retam*, *Lucium arabicum*.

2.1.3.4 Menacées

Toutes les espèces de cette Sebkh même les plus abondantes sont potentiellement menacées de disparition à plus ou moins brève échéance suite à une urbanisation de plus en plus étendue et l'accumulation des ordures de toutes sortes que ce nouveau dépotoir reçoit continuellement.

2.1.4 Dynamique végétale et nuisances

Les effets de la pression humaine sont très perceptibles, le seul compartiment végétal qui est demeuré en bon état est la très résistante sansouire, celle-ci occupe des zones inexploitable par l'homme :

- les sols hydromorphes étant impropres à l'agriculture ;
- la végétation halophile très peu appréciée par le bétail ;
- et les qualités géotechniques des sols ne permettent que difficilement une valorisation urbaine des sols.

Les autres types de couvert sont très dégradés :

- la végétation dunaire a été en très grande partie détériorée, d'une part du fait du pacage mais également et surtout par l'exploitation agricole de sa partie Est ;
- il ne subsiste plus que quelques tâches de maquis, principalement concentrées à l'ouest de la Sebkh ;
- la végétation aquatique est quasiment inexistante malgré des conditions hydrologiques qui s'y prêtent dans certains endroits de la sebkh, la régression de cette végétation est imputable à la mauvaise qualité des eaux et aux prélèvements (phragmites).

- **Le maintien voire l'amélioration de la biodiversité de la zone autant sur les plans faunistique que floristique sont conditionnés par une protection des habitats existants et à la réhabilitation des habitats dégradés. Ces objectifs ne pourront être réalisés que si un certain nombre de mesures sera mis en œuvre dans le site (zonage et travaux de réhabilitation des habitats) et à l'extérieur (amélioration de la qualité des rejets d'eaux industrielles et urbaines dans les oueds du bassin versant de la Sebkh de Soliman).**

2.2 La Faune terrestre de la Sebkh de Soliman

Les aménagements urbains et agricoles effectués ont réduit les habitats naturels, ce qui a diminué le nombre d'espèces représentatives du peuplement mammalien du Cap-Bon dans cette Sebkh.

Le site se distingue sur le plan faunistique par l'absence d'espèces mammaliennes remarquables, une faible représentation d'amphibiens, une bonne représentation de l'herpétofaune et une grande richesse ornithologique.

Nos prospections sur le terrain ont permis de repérer aux alentours de la Sebkh de Soliman ainsi que sur les dunes côtières certaines espèces décrites ci-dessous.

2.2.1 L'héropétofaune et les amphibiens

Les études spécifiques concernant l'héropétofaune de la zone de la Sebkha de Soliman sont inexistantes. Les seuls éléments qui existent concernent la région biogéographique du Cap Bon. Cette région présente une richesse spécifique importante : 35% des espèces observées sur le territoire national dont 6 espèces d'amphibiens et 23 espèces de reptiles.

Les prospections ont été effectuées en période hivernale, période défavorable à l'observation des reptiles qui n'apparaissent que pendant les saisons chaudes. Les observations effectuées ont permis de relever la présence de batraciens au niveau de la sansouire, des mares et de certaines zones de la Sebkha présentant des conditions favorables au développement de ces espèces. Les éléments concernant les reptiles ont été déduits de la bibliographie, des probabilités de présence de certaines espèces en fonction des habitats qui leur sont propres mais également à partir d'une enquête réalisée sur le terrain auprès des populations rurales fréquentant la zone. Ces suppositions fondées devront être confirmées par des observations effectuées lors des saisons chaudes.

Les espèces d'amphibiens observées sont :

- *Rana saharica* : cette espèce a été rencontrée dans des mares situées à proximité de la Sebkha.
- *Bufo viridis* : présent dans la végétation des berges.

Les espèces probables de reptiles que l'on peut rencontrer dans la zone sont :

- *Lacerta pater* : dont la présence est à confirmer sur les bordures des champs et au niveau du maquis.
- *Psammmodromus algirus* : présence à confirmer dans des habitats identiques à ceux de *Lacerta pater*.
- *Acanthodactylus blancii* : milieux dunaires végétalisés, cette espèce se rencontre sur la côte de l'ensemble du Golfe de Tunis à partir de Ghar el Melh ainsi que sur le littoral du Cap Bon.
- *Natrix maura* : la présence de cette espèce est fort probable au niveau de la végétation halophile.

Un suivi durant la période chaude est indispensable pour confirmer la présence de ces espèces. Toutefois il est important pour la conservation des populations reptiliennes de la zone de conserver la mosaïque d'habitats existants et de réduire les nuisances globalement engendrées par la pression humaine sur le milieu.

2.2.2 L'avifaune

Le détroit de Sicile constitue une voie de migration de grande importance, similaire à celle de Gibraltar à l'ouest, le Bosphore et la Mer Rouge à l'est, effectifs moins importants mais richesse spécifique importante, plusieurs espèces orientales utilisent cette voie avant de se rendre en Europe Centrale puis vers la Sibérie. C'est également une zone de passage importante pour les migrateurs de printemps, de mars à fin juin (rapaces, passereaux, cigognes, grues...). Ainsi, on rencontrera au niveau du Cap Bon, d'importants effectifs, une richesse spécifique importante en terme d'oiseaux d'eau et la présence de nombreuses espèces menacées.

2.2.2.1 Importance de la Sebkha de Soliman pour les oiseaux d'eau

La qualité des habitats de la Sebkha de Soliman et les résultats des différentes observations effectuées historiquement et dans le cadre de la présente mission, au sein de cette zone humide, démontrent l'importance de son rôle pour les oiseaux d'eau, aussi bien durant les périodes de migration d'hivernage, que pendant la saison de reproduction. La présence d'effectifs importants pour de nombreuses espèces et l'observation d'au moins une espèce vulnérable lui ont valu son éligibilité selon les critères de BirdLife International comme Zone d'Intérêt pour la Conservation des Oiseaux (ZICO). Cette justification a été faite par l'Association des Amis des Oiseaux notamment du fait de la présence de *Marmaronetta augustirostris* observée et d'au moins 1% de la population de *Larus genei* (H.Amri et H. Azafaf, 2001). Ces mêmes critères rendent le site éligible pour un classement RAMSAR.

Outre ces justifications émanant des observations effectuées par cette ONG, d'autres faits confortent l'importance accordée pour cette zone humide, notamment d'anciennes observations faisant état de la présence de l'Erismature à tête blanche (*Oxyura leucocephala*), mais également la présence constatée lors des prospections effectuées dans le cadre de cette étude de *Aythya nyroca*.

Ainsi, l'avifaune de la lagune de Soliman peut être considérée comme riche et diversifiée. En effet, lors du dernier recensement effectué dans le cadre de cette étude, l'effectif des oiseaux identifiés est passé de 1928 individus en 1994 (F. Maamouri, inventaire des zones humides / DGF) à 9511 en 2002. La comparaison des résultats de cette dernière mission (2002) avec ceux de 1967 à 1994, nous permettent de dégager plusieurs points relatifs à l'importance qu'a acquis cette sebkha sur le plan de la diversité avienne.

Ceci peut être expliqué par les faits suivants :

- cette zone humide côtière est une exception par rapport à la pérennité du plan d'eau ce qui en fait un site de repli pour les oiseaux d'eau pendant les années de sécheresse mais également pendant les années normales, car les nombreux barrages établis en amont des principales zones humides de la zone ont perturbé leur fonctionnement hydrologique. Au niveau du Cap Bon, les zones humides perpétuellement en eau sont les retenues de barrage et les sebkhas littorales tel que, la Sebkha de Soliman et celle de Korba. Ces dernières devant leur « salut » aux apports réguliers des rejets d'eaux usées domestiques et industrielles ;
- l'autre atout de la Sebkha de Soliman est son isolement par rapport aux zones d'habitations et les perturbations que celles-ci peuvent engendrer ;
- enfin, la décharge de la ville, même si elle constitue indéniablement une nuisance majeure, constitue un habitat idéal pour certaines espèces d'oiseau adaptées à ce type de milieu, notamment les goélands et les hérons garde-bœuf.

Les espèces d'oiseaux dénombrées par la mission (janvier 2002), sont au nombre de 34, réparties sur 14 familles : Les anatidés, les rallidés, les podicipédidés, les phoenicoptéridés, les phalacrocoracidés, les ardeidés, les recurvirostridés, les charadriidés, les scolopacidés, les laridés, les sternidés, les accipitridés, les upuidés, les falconidés et les columbidés.

Parmi les espèces recensées au niveau de la Sebkha de Soliman, les plus remarquables sont (voir annexe 3 : liste exhaustive des observations historiques dans la Sebkha de Soliman) :

- La Fuligule nyroca (*Aythya nyroca*), espèce menacée dont 12 individus, migrateur de passage, nicheur probable et hivernant, ont été recensés.
- La Tadornette de Belon (*Tadorna tadorna*), 147 individus, migrateur de passage, hivernant et nicheur possible.
- L'Echasse blanche *Himantopus himantopus*, avec 62 individus, nicheur, migrateur de passage et hivernant.
- Le Flamant rose (*Phoenicopterus ruber*), 49 individus, migrateur de passage et hivernant.
- La Spatule blanche (*Platalea leucorodia*) observée en 1993 avec un effectif de 35 individus, migrateur de passage et hivernant.
- L'Erismature à tête blanche (*Oxyura leucocephala*), espèce en danger, observée en 1978 avec un effectif de 38 individus, nicheur, migrateur de passage et hivernant.

2.2.2.2 Relations avifaune-habitats

Plage sableuse : c'est une bande étroite, dépassant rarement la centaine de mètres. La pollution solide y est perceptible (divers matériaux abandonnés par les pêcheurs et les baigneurs). Cet habitat est utilisé par diverses espèces de Laridés comme reposoirs et par quelques Limicoles comme zone d'alimentation. La densité des oiseaux sur la plage reste cependant relativement faible.

Dune fixée par des végétaux : cet habitat se présente sous forme d'un cordon dunaire massif. Le sable y est plus ou moins fixé par des végétaux divers (plantes herbacées et ligneuses). Cette dune consolidée sépare franchement (sauf au niveau du grau), la Sebkha de la mer. Cette formation est sans doute utilisée par certaines espèces d'oiseaux d'eau mais surtout par des passereaux comme site de nidification.

Formation végétale halophile : C'est une steppe halophile basse (sansouire), relativement bien développée. Cette formation constitue, là où la topographie du terrain le permet, une ceinture végétale assez large tout autour du plan d'eau. Les rares îlots périphériques sont colonisés par cette formation végétale. La valeur écologique de la « hmadha » est très élevée. Elle représente l'habitat le plus recherché par les espèces reproductrices pour établir leurs nids à l'abri des prédateurs et, surtout, à l'abri du dérangement causé par la population humaine, vu que les parties marécageuses de cette formation restent inaccessibles ou difficiles à atteindre. C'est au sein de cet habitat qu'il faudra vérifier pendant la période nuptiale des preuves de nidification pour certaines espèces limicoles. La conservation et la restauration de cet habitat est essentielle pour la protection de l'avifaune nicheuse de la zone humide.

Bordures de Sebkha temporairement inondées : Il s'agit là d'un substrat aphytique fin (constituant des vasières), inondé temporairement lors de la montée du niveau d'eau dans la lagune. Durant la saison hivernale, le niveau d'eau, étant maximal, la surface de cet habitat se réduit ; ce qui ne favorise pas les grands rassemblements de Limicoles qui affectionnent de tels biotopes. En dehors de la saison pluvieuse et des périodes des grandes marées, les vasières se découvrent, mais restent relativement humides.

Cette dernière situation, très favorable aux Petits Limicoles, comme les Gravelots et les Bécasseaux (qui exploitent les couches superficielles des sédiments), coïncide généralement avec les dates des grands passages de migrateurs. Il est donc évident que cet habitat joue un rôle primordial dans l'accueil de tels oiseaux, en quête de nourriture, au cours de leur migration et renforce ainsi l'intérêt écologique de la Sebkh.

Plan d'eau permanent : C'est la partie centrale de la lagune où une couche d'eau subsiste en permanence, grâce notamment aux arrivées des eaux domestiques. En effet, sans ces apports (il est vrai, très polluants), la lagune serait à sec en été, vu que la profondeur de l'eau n'est pas assez importante pour supporter les pertes causées par l'évaporation durant la saison sèche. Le fonctionnement hydrologique sera alors complètement altéré, et la lagune perdrait presque tous ses attributs écologiques.

Une station d'épuration est en cours de construction pour le traitement des eaux usées ; or, nous venons de le voir, la continuité de l'arrivée de l'élément liquide est primordiale. Ainsi, l'acheminement prévu des eaux traitées vers la Sebkh aura un impact positif sur les populations d'oiseaux.

Notons, enfin, que cet habitat sert comme lieu d'alimentation et de repos pour beaucoup d'oiseaux comme les Flamants et les Canards.

2.2.2.3 *Dysfonctionnements et menaces*

La région du Cap Bon connaît une forte extension de l'urbanisation et de l'agriculture intensive ; elle connaît aussi un rythme accéléré d'installation liées ou non aux activités agricoles (huileries, conserverie, textile...). Le développement du tourisme ainsi que le braconnage sont également importants.

Nous décrirons ci-après les activités humaines les plus contraignantes qui touchent précisément la Sebkh de Soliman.

L'urbanisation : Les effets directs de l'urbanisation sont encore peu perceptibles, la Sebkh de Soliman pour des questions de disponibilité foncière n'étant pas à l'heure actuelle attirante pour les promoteurs et les spéculateurs. On signalera tout de même l'usage devenu « classique » des berges de la décharge comme dépotoir notamment comme lieu de rejet de déchets de construction qui constitue un impact négatif sur le milieu naturel. Les effets indirects consistant aux rejets d'eaux usées, qui seront bientôt traitées par la STEP de Soliman constitue un impact positif du fait de la pérennité des apports d'eau douce vers la zone humide. La présence de la décharge au sud de la sansouire constitue également un habitat propice aux rassemblements d'espèces comme les laridés. Néanmoins les émanations de gaz dus à la combustion incomplète des ordures et la manière dont est gérée la présente décharge constituent un impact globalement négatif sur la zone.

L'agriculture et l'élevage : Les activités agricoles ainsi que l'élevage, pratiqués dans le Cap Bon engendrent les effets négatifs suivants :

- Extension des cultures aux dépens des habitats naturels, réduisant ainsi les superficies des zones humides.
- Pollution par les fertilisants et pesticides qui portent préjudice, en particuliers, aux herbiers aquatiques dont dépendent les oiseaux ainsi que d'autres animaux herbivores.
- La baisse du niveau des nappes aquifères (impact déjà signalé) par la pratique de l'agriculture intensive irriguée.
- Le pâturage qui contribue à la dégradation du couvert végétal naturel, notamment celui qui permet de fixer les dunes ; ce qui, à long terme, provoque l'érosion de ces unités structurelles.

L'industrie : La principale nuisance sur ce plan provient de la grande unité laitière située sur le bassin versant de la Sebkh et dont les effets sont très perceptibles surtout en ce qui concerne la qualité des eaux. L'unité d'algoculture établie sur la dune consolidée ne génère pas d'impacts perceptibles sur le milieu naturel, sauf modérément du fait du bruit des véhicules enjambant le petit pont qui relie les berges nord et sud de la lagune.

Pêche et tourisme estival : Ces activités, pratiquées le long des plages, engendrent une accumulation alarmante de déchets solides (plastique, boîtes de conserve...).

Chasse et braconnage : La chasse, activité très répandue au Cap Bon (c'est la région, dit-on, de Tunisie qui compte le plus de fusils par tête d'habitant), est une source de dérangement important pour les oiseaux d'eau. Au niveau de la Sebkh de Soliman, il est pratiqué intensément en dépit de la présence prouvée d'espèces vulnérables comme le *Fuligule nyroca* par exemple.

2.3 La flore et la faune aquatique de la Sebkha de Soliman

Les campagnes d'échantillonnage se sont déroulées entre les mois de décembre et de janvier. Durant cette saison la plupart des espèces sont dans un état de léthargie. En effet à part les oiseaux qui étaient relativement nombreux au niveau du plan d'eau, la faune aquatique n'était pas très importante.

La flore au niveau du plan d'eau se réduit à deux espèces de macroalgues, à savoir *Ulva rigida* et *Enteromorpha intestinalis*, avec dominance de la première sur la seconde. La présence de ces espèces se limite au niveau du bassin ouest de la Sebkha, puisqu'il est le plus proche du grau et par conséquent le plus marinisé. Le taux de recouvrement par ces espèces au niveau des différentes stations prospectées varie entre 80 et 100%, ce qui dénote d'une importante richesse du milieu en nutriments, ces algues étant des bio-indicateurs de pollution organique. Ce phénomène de pollution organique, est confirmé par les résultats des analyses.

L'eutrophisation est également visible dans le bassin Est du plan d'eau, les eaux de ce bassin présentent une couleur brune générée par un bloom phytoplanctonique. L'espèce responsable de ces eaux brunes est une diatomée. En effet, l'alternance « plan d'eau desséché/plan d'eau inondé », ainsi que les teneurs élevées en silicium, en azote et en phosphore sont favorables à l'épanouissement du compartiment phytoplanctonique et particulièrement les diatomées à tests siliceux. Un grand nombre de rotifères est également recensé dans les échantillons prélevés au niveau de ce même compartiment. La présence de ces espèces montre que le milieu est le siège d'une chaîne trophique complète essentiellement en saison printanière.

Pour ce qui est de la faune les principales espèces observées sont les juvéniles de muges, les espèces rencontrées historiquement sont absentes : les témoignages des pêcheurs font foi de la présence, il y a quelques années de mullets, de lousps, d'anguilles, de soles, etc. ainsi que quelques céphalopodes comme les seiches. Lors des périodes de tempêtes, ils pêchaient à l'intérieur de la lagune au moyen de filets et les prises étaient apparemment assez bonnes.

L'entomofaune est représentée par des imagos de Diptères, de Nématocères avec essentiellement des Culicidés et des Aedidés.

Les mollusques sont également présents dans le milieu essentiellement au niveau du bassin ouest du côté de la mer et à la hauteur de la station 17 au niveau du bassin Est. Les espèces présentes sont caractéristiques du milieu lagunaire, on cite *Hydrobia ventrosa*, un petit gastéropode vivant entre les thalles des Ulves et *Cerastoderma glaucum*, un bivalve plus répandu que la première espèce mais durant la période d'observation la plupart des individus échantillonnés étaient morts. Le lieu où se trouve cette dernière espèce, permet d'avancer l'hypothèse suivante : les larves de *Cerastoderma* rentrent dans la lagune à travers le grau en période printanière, où elle trouvent les conditions optimales pour leur développement. Vu la variation saisonnière des conditions du milieu, ces bivalves voient leur milieu se détériorer, et finissent par mourir. Les coquilles de bivalves vides sont pour la plupart accumulées sur la rive Sud du bassin Est de la lagune ; ceci est la preuve de l'existence d'un courant d'eau marine qui rentre par le grau et arrive jusqu'à ce point.

En définitive, leur présence dans le milieu est tributaire des conditions de ce dernier, qui changent en fonction des saisons notamment du fait des conditions météorologiques qui ont des effets directs sur la température, la salinité et l'oxygène.

Actuellement les rejets de la STEP dans la lagune constituent un apport important en nutriments. En effet, dans ce milieu toutes les conditions nécessaires à l'apparition d'un phénomène d'eaux rouges sont réunies. Ces conditions résident en l'existence d'un plan d'eau peu profond, où l'eau est stagnante, les sels nutritifs abondants, et la température élevée ce qui a eu comme effet un contexte très favorable au développement de la production primaire.

2.4 La flore et la faune marine

La mission de reconnaissance en mer, au large du grau, est importante dans la mesure où elle permet de voir l'effet des eaux de la sebkha sur la diversité biologique de la zone. L'identification de l'impact de ces eaux sera basée sur les indicateurs biologiques. Par définition un indicateur biologique est un processus biologique qui se traduit au niveau moléculaire, au niveau de la cellule, au niveau de l'organisme ou au niveau d'un ensemble d'organismes, et qui révèle l'existence d'une perturbation ; cette perturbation résulte d'un ou de plusieurs facteurs biotiques ou physico-chimiques et de leurs interactions. On regroupe, sous le nom général d'indicateurs biologiques, cinq catégories d'outils, dont les espèces sentinelles.

Une espèce sentinelle est une espèce qui, par sa présence et son abondance, ou au contraire par son absence, avertit d'un déséquilibre du milieu ou de distorsions dans le fonctionnement d'un écosystème. Les espèces sentinelles peuvent être positives (présence) ou négatives (absence). *Posidonia oceanica* et plusieurs espèces du

genre *Cystoseira*, très sensible à la pollution, sont des sentinelles négatives. *Ulva rigida* et plusieurs espèces du genre *Enteromorpha* sont des sentinelles positives.

Pour l'étude du benthos de la zone située en face du grau nous avons adopté les techniques visuelles avec possibilité de prélèvements directs et c'est par plongée en apnée, que nous avons accompli cette opération. Il est évident que de tels prélèvements doivent être effectués sur une surface homogène, c'est à dire qu'il faut éviter de choisir une surface qui renferme visiblement plusieurs peuplements distincts juxtaposés. D'autre part, l'expérience montre que l'aire minima d'un relevé ; c'est à dire la plus petite surface sur laquelle la quasi totalité des espèces du peuplement se trouve réunies simultanément ; ne doit pas être inférieure à 0,25 m², et qu'il est exceptionnel qu'elle excède 1m². Pour cela les prélèvements ont été réalisés en plongée avec grattage d'une surface carrée de 40 cm de côté.

Les stations d'échantillonnage réalisées sont au nombre de trois et se situent, comme suit :

<u>Station</u>	<u>Localisation</u>
1	En face du grau, à une profondeur de 3m (fond sableux)
2	A l'est du grau, à une profondeur de 3m (fond sableux)
3	A l'ouest du grau, à une profondeur de 1m (fond sableux)

2.4.1 Caractéristiques générales des trois stations

La première station se situe en face du grau, le sédiment y est couvert par une fine couche de vase noire, où aucune végétation ne s'est développée, ce n'est qu'environ 100m plus loin, à partir de la plage que la flore apparaît avec une forte dominance des cymodocées. La zone entre l'embouchure de la sebkha et l'isobathe de 3m est complètement dénudée, seuls quelques rouies de posidonies forment une écharpe de 1,5 m longeant la zone de balancement de la marée.

La deuxième station située à l'est du grau, montre une forte abondance de la phanérogame *Posidonia oceanica*, qui s'étend jusqu'aux faibles profondeurs à savoir 0,5 m. Le fond sableux est pratiquement intégralement couvert d'algues et majoritairement des posidonies.

Enfin, la troisième station à l'ouest du grau diffère des deux premières du fait que le fond y est rocheux et les biocénoses qui s'y développent sont caractéristiques du mode battu. La principale différence est l'importante densité de *Cystoseires*.

Les échantillons prélevés au niveau de toutes les stations sont immédiatement fixés, afin de conserver leur intégrité. L'identification des espèces contenues dans les échantillons recueillis, nous a permis de distinguer les différentes biocénoses, qui occupent la zone marine en face du grau.

La détermination des espèces faunistiques et floristiques, a été effectuée au laboratoire avec des observations sous loupe binoculaire et microscope, ainsi qu'avec des manuels d'identification usuels en particulier Riedl (1983), Fisher et al. (1987), Perrier (1930) et Ribier et al. (1984).

En comparaison avec les diverses signalisations antérieures dans le golfe de Tunis, on remarque que plusieurs espèces n'apparaissent pas dans les échantillons pour trois principales raisons :

- leur absence de la zone d'étude (milieu hostile à leur développement : nature du fond et profondeur) ;
- la saison au cours de laquelle nous avons effectué la campagne d'échantillonnage (hiver) ;
- les erreurs dues à l'échantillonnage.

Parmi les espèces floristiques non mentionnées et qui existent dans le golfe de Tunis, on cite *Padina pavonica*, *Udotea petiolata*, *Sargassum vulgare*, *Anadyomene stellata*, *Bryopsis sp.*, *Caulerpa prolifera* etc.

Les principales espèces floristiques identifiées sont les phanérogames ; *Posidonia oceanica* et *Cymodocea nodosa*.

La biocénose la plus importante est celle des sables vaseux superficiels en mode calme (SVMC) qui est localisée au niveau de la station 1, avec comme principale espèce *Cymodocea nodosa*. Cette première biocénose ne dépasse guère une profondeur de 3m dans des zones absolument calmes. L'épifaune de cette phanérogame est essentiellement représentée par des hydrides et des bryozoaires (*Electra sp.*), alors que la faune vagile associée, est représentée par des gastéropodes du genre *Cerithium* ainsi que plusieurs espèces de petits crustacés.

Le faciès de *Cymodocea nodosa* n'admettant pas de dessalure, est généralement situé là où le renouvellement des eaux est le plus actif, et leurs rhizomes forment un entrelacement très serré, abritant un grand nombre d'espèces de crustacés et de polychètes.

La biocénose des SVMC est généralement caractérisée par une association de cymodocées et de caulerpes (*Caulerpa prolifera*), mais cette dernière espèce pérennante n'a pas été observée au cours de cette période, vu son cycle biologique caractérisé par une prolifération estivale. En ce qui concerne les autres espèces accompagnatrices on a pu identifier *Halimeda tuna* et *Dictyota dichotoma*.

La faune benthique est représentée par des espèces sessiles tel que les ascidies : *Ectinascidia turbinata* et *Didemnum*, des éponges du genre *Ircinia*. Quant aux espèces vagiles on note l'abondance de l'holothurie (*Holothuria polii*), des poissons (Gobidés et Blennidés) et de petits sparidés, ainsi que quelques crustacés isopodes comme *Idotea* et des crustacés amphipodes comme les gammaridés, caractéristiques des banquettes de cymodocées.

Au niveau des autres stations (2 et 3), on remarque l'abondance de la Magnoliophyte *Posidonia oceanica* endémique de la Méditerranée. L'herbier se développe en mer ouverte, dans l'infralittoral, entre le niveau moyen et 25 à 40m de profondeur selon la transparence de l'eau, aussi bien sur fond meuble que sur fond dur.

Les herbiers de posidonies sont considérés comme étant les écosystèmes les plus importants de la méditerranée, en effet sa présence dans un milieu donné a un important impact sur les caractéristiques de ce dernier ;

- Les mattes fixent le sédiment par piégeage, constituant ainsi un puits pour sédiments.
- L'herbier atténue la force hydrodynamique des vagues d'environ 50%, contribuant ainsi à la protection des plages.
- La production primaire nette est considérable, de telle sorte qu'il se trouve à l'origine de réseaux trophiques très riches.
- L'herbier de posidonies constitue avec le coralligène le principal réservoir de biodiversité en Méditerranée (près de 20% de toutes les espèces communes en Méditerranée y ont été signalées, soit plusieurs milliers d'espèces).
- C'est une frayère et une nurserie pour de nombreuses espèces, dont de nombreux poissons d'intérêt économique.

La préservation des herbiers de posidonies revêt donc une importance globale pour la conservation de la biodiversité méditerranéenne ainsi que pour des raisons économiques (pêche professionnelle).

Les associations d'algues au niveau de l'herbier de posidonies, sont principalement formées d'*Halimeda tuna*, *Dasycladus vermicularis*, etc et utilisent les rochers, les mattes de posidonies et les coquilles de grande nacre en tant que support.

La faune vagile est dominée par des isopodes du genre *Sphaeroma* sp., des gastéropodes (*Cerithium vulgatum*, *Gibbula ardens*, *Aiptasia* sp.), des lamellibranches (*Pinctada radiata*, *Modiola barbata*), des échinodermes astérides : *Asterina gibbosa*, des ophiures *Ophioderma* sp. Et les échinides *Arbacia lixula*.

La faune ichthyque est peu apparente, mais on note la présence de Serranidés (*Serranus scriba*) et de Labridés (*Symphodus tinca* et *Coris julis*) en nombre relativement important et des mollusques céphalopodes (*Sepia officinalis*, *Loligo vulgaris* et *Octopus vulgaris*).

Globalement, la vulnérabilité de l'écosystème à *P. oceanica* aux perturbations peut s'expliquer par le fait que malgré la très grande diversité spécifique qui le caractérise, le compartiment « producteurs primaires pérennants » est représenté par une espèce clé unique *P. oceanica*.

Au niveau de notre zone d'étude, l'herbier de posidonies a régressé au large du grau suite à la pollution d'origine urbaine qui provient de la sebkh.

L'un des points importants à signaler au niveau de la zone prospectée et particulièrement au niveau du grau est l'aspect des fibres rouies de posidonies, dans ce genre de milieu le fond est riche en débris et fibres nervrales, provenant de la décomposition des feuilles caduques de *Posidonia oceanica*, se trouvant accumulées par des conditions hydrodynamiques spéciales (obstacles placés sur le trajet de certains courants dominants ou rencontre de courants de sens opposés).

Les fibres rouies ainsi accumulées peuvent subir un début de feutrage, mais leur agrégation est surtout le fait d'organismes, qui fixé à l'état de larves sur de petits agrégats, accroissent eux mêmes la consolidation lorsqu'ils se développent. A cette agrégation participent aussi divers organismes sécréteurs de calcaire, notamment des polychètes serpulidés, des ascidies qui sont, des filtres par excellence et une importante faune malacologique.

Dans la plupart des stations, l'algue rouge *Peyssonelia squamaria* est abondamment présente, et elle correspond à la biocénose du détritique côtier.

Parmi les espèces les plus abondantes on cite le bivalve *Pinctada radiata* espèce lessepsienne, originaire de l'Indo-Pacifique, elle a été observée pour la première fois en Méditerranée, en Alexandrie en 1878 et douze ans après elle était présente dans le golfe de Gabès, puis en 1895 dans le golfe de Tunis. Ce bivalve a toujours été cité comme très abondant dans les herbiers de posidonies et son abondance ne semble pas avoir décliné.

- **En définitive, la plupart des stations montrent que le milieu n'est pas dans un état critique, mais le recul apparent des posidonies au niveau de la station n°1, ainsi que la couche de vase noire qui couvre le sédiment, sont révélateurs d'un impact négatif des eaux de la sebkh sur le milieu marin contigu. Il est de ce fait important que la qualité de l'eau sortant de la sebkh soit améliorée et ce en commençant d'abord par traiter les eaux usées urbaines qui se déversent dans le plan d'eau.**

Relevé des espèces rencontrées lors de la campagne de prospection

	Station 1	Station 2	Station 3
Flore			
Magnoliophytes			
<i>Posidonia oceanica</i>		X	
<i>Cymodocea nodosa</i>	X		
Chlorophytes			
<i>Ulva rigida</i>	X	X	X
<i>Enteromorpha linza</i>	X		
<i>Codium bursa</i>		X	X
<i>Halimeda tuna</i>		X	
<i>Codium tomentosum</i>			X
<i>Cladophora sp</i>			X
Rhodophytes			
<i>Jania rubens</i>		X	X
<i>Peyssonelia squamaria</i>	X		
<i>Laurencia obtusa</i>	X		
<i>Peyssonelia squamaria</i>		X	X
<i>Gelidium latifolium</i>		X	
<i>Falkenbergia rufolanosa</i>			X
Phéophytes			
<i>Dictyopteris membranacea</i>	X	X	
<i>Dictyota dichotoma</i>		X	
<i>Cystoseira sp.</i>			X
<i>Colpomenia sinuosa</i>			X
Faune			
Spongiaires			
<i>Crambe crambe</i>		X	X
<i>Ircinia sp.</i>		X	
<i>Chondrosia reniformis</i>	X		
Actiniaires			
<i>Anemonia sulcata</i>	X		
Gastéropodes			
<i>Cerithium vulgatum</i>	X		X
<i>Conus mediterraneus</i>	X		
<i>Patella rustica</i>		X	
<i>Pisania striata</i>		X	X
<i>Diodora sp.</i>			X
<i>Hydrobia ventrosa</i>		X	
<i>Gibbula ardens</i>			X
<i>Murex trunculus</i>	X		X

Lamellibranches			
<i>Pinna nobilis</i>	X		
<i>Pinctada radiata</i>	X	X	
<i>Modiolus barbatus</i>	X		
<i>Venerupis geographica</i>	X		
<i>Arca noae</i>	X		
Polyplacophores			
<i>Chiton olivaceus</i>			X
Echinodermes			
<i>Ophioderma sp.</i>			X
<i>Asterina gibbosa</i>			X
<i>Holothuria polii</i>	X		
<i>Arbacia lixula</i>		X	
<i>Paracentrotus lividus</i>			X
<i>Sphaeroma serratum</i>	X	X	
Crustacés			
<i>Porcellana platycheles</i>		X	
<i>Gammarus aequicauda</i>			X
<i>Idotea basteri</i>			X
Bryozoaires			
<i>Electra posidoniae</i>		X	
Ascidies			
<i>Ectinascidia turbinata</i>	X	X	
<i>Didemnum sp.</i>		X	X

3. POPULATION ET OCCUPATION DES SOLS

3.1 La ville de Soliman

Principale ville faisant partie d'un chapelet de localités situées sur la côte Ouest du Cap-Bon, Soliman est une agglomération balnéaire, où l'agriculture a toujours été et reste la principale activité et source de revenu pour la population.

Située à mi-chemin entre de Tunis et Nabeul (environ 35 km des deux villes), Soliman est la principale ville du littoral Ouest du Cap-Bon, toutes les autres localités côtières Mrissa, Takelsa, Oued Abid, Saheb Jebel sont de moindres importances. Soliman exerce son influence même sur les villes et localités situées le long de l'axe central du Cap-Bon (Menzel Bouzelfa, Grombalia, Béni Khalled).

La délégation de Soliman est subdivisée en quatre Imadas : Soliman, Soliman Sud, Merissa, Echrfat et Bou Charaye. Les secteurs les plus peuplés sont ceux de Soliman et Soliman Sud avec respectivement 5 752 hab et 15 661 hab d'après le RGPH de 1994.

3.1.1 Démographie et habitat

3.1.1.1 Population

L'enquête par sondage effectuée en juillet 2000 a estimé la population de Soliman à environ 24 000 habitants. Tout comme les derniers recensements de 1984 et 1994, Soliman est placée à la septième place de par sa taille dans la hiérarchie des villes du Cap-Bon.

Hiérarchie des principales villes du Cap-Bon suivant la population

		1984	1994	Taux d'accroissement
1	Nabeul	39 531	49 469	2,27%
2	Hammamet	30 441	45 820	4,17%
3	Kelibia	24 595	32 162	2,72%
4	Menzel Temime	23 753	28 589	1,87%
5	Korba	21 894	28 518	2,68%
6	Dar Châabane	19 478	28 058	3,72%
7	Soliman	16 559	21 413	2,60%

(INS : RGPH 1984 et 1994)

Cette population a évolué avec un taux moyen d'accroissement annuel de 2,6% durant la décennie 1984-1994, considéré parmi les plus forts taux des villes du gouvernorat, derrière Hammamet, Dar Châabane, Kélibia et Korba.

Population de la ville de Soliman

	RGPH 1984	RGPH 1994
Soliman	16 559	21 413
Population communale du Gouvernorat	254 088	374 259
Pop. de Soliman / Pop. Communale du Gouvernorat de Nabeul	6,52%	5,72%

(INS : RGPH 1984 et 1994)

La part de la population de Soliman dans la population urbaine du Gouvernorat de Nabeul a nettement diminué depuis le recensement général de 1984. D'un taux de 6,52%, la population de Soliman ne constitue plus que 5,72% d'après le RGPH de 1994.

Ceci n'est pas dû à une régression du taux d'accroissement de la population de Soliman par rapport au reste des agglomérations urbaines du Gouvernorat, mais plutôt au nombre relativement important des nouvelles localités érigées en commune durant cette période (El Mida, Azmour, Menzel Horr, Takelsa, Zaouiet Jedidi, Dar Allouch).

3.1.1.2 Accroissement des logements et des ménages

L'accroissement du nombre de logements, 4,24% enregistré entre 1984 et 1994, a été supérieur à la moyenne nationale estimée à 3,6%, mais inférieure à la moyenne du gouvernorat de Nabeul 5%.

Ceci est valable pour presque toutes les villes du Cap Bon, où sur les 24 villes, deux seulement enregistrent un taux inférieur à la moyenne nationale : Grombalia 3,58% et Korbous 0,97%.

En ce qui concerne les ménages, le taux d'accroissement annuel des ménages dans la ville de Soliman était de l'ordre de 3,74% durant la décennie 1984-1994, supérieur à la moyenne nationale qui est de 3%, mais inférieure à la moyenne du gouvernorat estimée à 4,11%.

Accroissement des logements et des ménages

	Logements			Ménages		
	1984	1994	Accrois.	1984	1994	Accrois.
Soliman	3 351	5 076	4,24%	2 963	4 277	3,74%
Ensemble des communes du Gouvernorat	51 318	91 562	5,96%	48 050	79 551	5,17%

(INS : RGPH 1984 et 1994)

3.1.1.3 Solde migratoire - attractivité de la ville

Les taux d'accroissement des ménages et des logements de la ville de Soliman, largement supérieures à la moyenne nationale, et à plusieurs taux enregistrés dans des villes côtières similaires, prouvent la grande attractivité qu'exerce Soliman sur les petites localités environnantes et les régions de l'intérieur du pays.

Ce constat est confirmé par le solde migratoire enregistré pendant les deux derniers recensements de 1984 et 1994. On relève en effet un solde toujours positif et en nette progression, plaçant Soliman à la troisième place parmi les villes du gouvernorat de Nabeul ayant les plus forts soldes migratoires.

Classement des plus forts soldes migratoires du gouvernorat de Nabeul

RGPH de 1984			RGPH de 1994		
1	Hammamet	1 870	1	Hammamet	5 103
2	Grombalia	350	2	Dar Chaâbane	1 627
3	Dar Chaâbane	340	3	Soliman	758
4	Nabeul	260	4	Beni Khiair	559
5	Bou Argoub	210	5	Zaouiet Jdidi	510
6	Soliman	200	6	Bou Argoub	448

INS : RGPH 1984 et 1994

3.1.2 Les activités économiques

3.1.2.1 L'industrie

L'activité industrielle est en plein essor dans la commune de Soliman, on dénombre 34 unités industrielles situées dans le périmètre communal. Le tableau en annexe 2, fourni par la municipalité donne en détail la liste exhaustive de ces unités.

Ces unités sont localisées pour la plupart sur la MC 26 ou route de Tunis, la MC 43 (route de Menzel Bouzelfa), et la MC 26 ou route de Korbous. Le P.A.U. de Soliman a réservé deux zones pour l'extension des activités industrielles, l'une située sur la MC 26 et l'autre au Sud de la route de Menzel Bouzelfa. Ces zones sont affectées en priorité, d'après le règlement d'urbanisme, aux industries de transformation et aux dépôts.

3.1.2.2 L'agriculture

Le secteur agricole dans la région de Soliman repose essentiellement sur trois types d'exploitation :

- Les cultures maraîchères : on y cultive les légumes de saison tels que les pommes de terre, les piments, les tomates, les oignons, les haricots verts, les courgettes,...
- La céréaliculture et le pâturage extensif : sans être prédominants dans cette région, la céréaliculture et l'élevage ovin continuent à jouer un rôle économique et social de premier ordre dans certaines localités de la région.

- L'oléiculture et la viticulture : la région de Soliman représente 12% des surfaces agricoles du gouvernorat de Nabeul et 21% de l'ensemble du vignoble du gouvernorat avec 23% de la production. Les périmètres irrigués dans la délégation de Soliman totalisent une surface de 2 740 ha.

La vigne de cuve est cultivée dans 3 406 ha et a produit 20 520 tonnes en 1985 alors que la vigne de table s'étend sur 505 ha avec une production de 3 475 tonnes en 1985. Lors du dernier recensement, la répartition des exploitants agricoles dans la région de Soliman était comme suit :

Répartition des exploitants agricoles

Surface du lot	Nb. d'exploitants
Moins de 2 ha	696
de 2 à 5 ha	706
de 5 à 10 ha	292
de 10 à 20 ha	128
de 20 à 50 ha	37
Plus de 50 ha	19
Non déclaré	15

CRDA de Nabeul - 1998

Une grande partie de ces exploitations est localisée, d'après la carte de conservation des terres agricoles, à l'Est de la ville de Soliman, et est formée de deux périmètres irrigués au nord-est et au sud-est, alors que la partie centrale, est classée zone de sauvegarde. Une zone sauvegarde de moindre étendue est située au Sud ouest de la ville.

3.1.2.3 Le tourisme

Actuellement, on dénombre deux unités hôtelières mitoyennes construites en 1970 et installées au niveau de la plage de Sidi Ejjeimi :

- L'hôtel Solymar : de catégorie deux étoiles (2*), et d'une superficie de 10 ha. Il a une capacité de 400 lits, et occupe 20% de sa superficie, mais aucun projet d'extension n'est prévu ;
- L'hôtel Andalous : de catégorie une étoile (1*), il dispose d'une superficie de 10,3 ha et n'occupe que 20% de cette superficie.

Le plan d'aménagement du secteur de Sidi Ejjeimi, approuvé en 1983, a également réservé cinq autres lots à l'hôtellerie, dont deux en front de mer et trois en arrière zone. Quinze ans après l'approbation de ce plan, les cinq lots sont encore vacants et aucune évolution n'a été enregistrée pour les deux unités existantes.

Cette stagnation de l'hôtellerie, malgré est due, selon les hôteliers déjà installés dans la zone de Borj Cedria-Soliman à plusieurs facteurs :

- la concurrence des autres zones touristiques qui bénéficient d'une image internationale et d'un arrière pays plus attractif (Hammamet, Sousse, Monastir, Djerba, ... et plus récemment Tabarka) ;
- le site est venté et les plages subissent une importante érosion marine ;
- le manque de transport en commun pour l'accès à la zone, d'où les difficultés pour le personnel hôteliers ;
- le rattachement de la zone à la banlieue Sud de la capitale qui ne bénéficie pas d'une image de marque valorisante comparable à celle de la banlieue Nord, grâce à des sites prestigieux tels que Carthage, Sidi Bou Saïd, La Marsa,...
- les difficultés d'accès à la zone à partir de l'aéroport (traversée de zones urbaines et de zones industrielles,...)

Le projet de la zone touristique de Borj Cédria – Soliman :

Le plan d'aménagement de la zone touristique de Borj Cédria - Soliman qui s'étend de Bir El Bey Plage à Soliman a été révisé dans le cadre de la politique de restructuration et de densification des zones touristiques existantes, afin d'optimiser l'utilisation de leurs sites tout en sauvegardant l'environnement naturel.

Les options d'aménagement du plan d'aménagement de détail de la zone sont :

- l'aménagement d'un maximum de lits hôteliers, para-hôteliers et résidentiels touristiques en front de mer et sur l'ensemble de la bande littorale, au moyen d'une densification au niveau des superstructures existantes et d'un aménagement des aires encore inoccupées ;
- le développement des activités de récréation complémentaires à l'hébergement ;

- la recherche d'un mode d'occupation des espaces le plus efficace afin de minimiser le coût des infrastructures.

Les principales options retenues pour les trois secteurs sont :

- Borj Cédria : secteur déjà occupé, il s'agit ici surtout de densifier les unités hôtelières existantes et de proposer un aménagement complémentaire conçu pour dynamiser ce secteur.
- Sidi Ejjeimi : son renforcement et l'augmentation du nombre de lits hôteliers et para-hôtelier, et ce, dans le but de rentabiliser les investissements en réseaux d'infrastructure.
- Soliman plage : création d'un pôle touristique qui s'intègre dans la zone et qui assure la continuité par rapport au secteur de Sidi Ejjeimi, en intégrant les lotissements résidentiels existants.

Le programme global d'aménagement de la zone touristique de Borj Cedria - Soliman accueillera à terme 6 305 lits répartis en trois secteurs :

- Le secteur de Borj Cedria, situé à l'Ouest de la zone, s'étendant sur une superficie de 210,03 ha hors voiries et offrant une capacité de 12 805 lits.
- Le secteur de Sidi Ejjeimi, en position centrale, s'étendant sur une superficie de 179,99 ha hors voiries et offrant une capacité de 11 100 lits.
- Le secteur de Soliman Plage, situé à l'Est de la zone, s'étendant sur une superficie de 147,1 ha hors voiries et offrant une capacité de 10 290 lits.

Le programme d'aménagement de l'ensemble de la zone touristique comprend :

- 16 unités hôtelières occupant une superficie de 119,7 ha et offrant une capacité de 12400 lits;
- 10 unités appart-hôtelières occupant une superficie de 41,2 ha et offrant une capacité de 4 945 lits;
- 25 lotissements ou ensembles résidentiels occupant une superficie de 237,4 ha et offrant une capacité de 16 850 lits;
- 7 unités d'animation occupant une superficie de 6,2 ha ;
- 9 aires de stationnement occupant une superficie de 5 ha ;
- 14 zones vertes, 6 zones vertes équipés, 2 zones forestières et une zone naturelle occupant une superficie totale de 58,12 ha.

Le tableau suivant donne en détail le programme d'aménagement de la zone :

Programme d'aménagement de la zone touristique

Fonction	Nombre d'unités	Superficie totale (ha)	Capacité totale (lits)
Unité hôtelière	16	119,70	12 400
Unité appart - hôtelière	10	41,20	4 945
Ensemble résidentiel	25	237,40	16 850
Zones d'animation	8	6,20	-
Zones vertes	14	8,12	-
Zones vertes équipées	6	29,10	-
Zones forestières	2	9,90	-
Zones naturelles	1	11,00	-
Zones d'équipement	2	69,50	-
Aires de stationnement	9	5,00	-
TOTAL	93	537,12	34 195

Source : P.A.D. de la Zone touristique de Borj Cédria-Soliman

3.1.3 Les infrastructures de la zone

3.1.3.1 Infrastructure routière

En dehors de la route régionale RR26 qui assure une grande part de la liaison entre le Cap-Bon et la Capitale, le réseau routier de la zone du projet se limite à :

- La route touristique qui évolue le long de la côte entre Borj-Cédria (GP1) et le village de Soliman plage,
- La bretelle reliant la route RR26 au niveau de PK 5+500 à la route touristique,
- La liaison routière entre la ville de Soliman et le village de Soliman plage.

Avec un trafic journalier moyen de 13486 Véhicules, recensés en 1997, la RR26 est considérée comme l'un des axes structurants du réseau routier national. Les travaux de mise à 2x2 voies, en cours d'achèvement, du tronçon de la RR26 compris entre Borj Cédria et Soliman, entrepris par le Ministère de l'Équipement et de l'Habitat, témoignent de l'importance des flux du trafic routier qui sollicite cet axe.

Les flux de trafic relatifs à la route touristique et les flux de l'axe Soliman/Soliman plage sont beaucoup moins importants que ceux observés sur la route RR26. Toutefois, avec la création du nouveau pôle urbain de Borj Cédria Seltène (lotissement AFH), le trafic routier sur le tronçon Ouest de la zone touristique est voué à une évolution importante.

Le tronçon Ouest (coté Sebkha) reste peu circulé. De ce fait, la route présente un état dégradé et semble être délaissée. Avec un revêtement bicouche, la chaussée présente une largeur variant entre 5 et 5,5m. Elle est bordée par deux accotements stabilisés de largeur égale à 2 à 3m. Le drainage transversal de la route de Soliman plage est assuré par des petits ouvrages hydrauliques répartis sur la zone basse qui permettent le transit des eaux des crues d'Oued El Bey vers la Sebkha. Il s'agit de :

- 3 passages busés de diamètre 1000mm, complètement bouchés;
- 1 dalot de section (4,5x1,0)m² qui constitue le principal exutoire.

3.1.3.2 Les réseaux existants

L'ensemble de réseaux des concessionnaires qui se trouvent dans la zone du projet appartiennent aux organismes suivants :

- La STEG.
- TUNISIE TELECOM.
- La SONEDE.
- et L'ONAS.

Ces concessionnaires ont été informés du projet dès le démarrage des études de la présente phase. Hormis la STEG, tous ces organismes nous ont transmis la situation de leurs réseaux sur des fonds de plans à l'échelle 1/2000^{ème} qui leurs ont été adressés pour cette fin. Le plan joint en annexe récapitule l'implantation des divers réseaux existants et projetés dans la zone du projet (voir Plan #4 dans Annexe Cartographique). L'examen de ce plan montre que les réseaux des concessionnaires se concentrent principalement le long de l'axe reliant la ville de Soliman au village de Soliman plage.

Réseau ONAS :

Le réseau ONAS constitue l'essentiel des réseaux existants dans la zone du projet. Il comprend :

- Une conduite Φ 500mm en béton armé qui longe la route de la plage entre la ville de Soliman et la station d'épuration. Cette conduite constitue l'émissaire de raccordement des eaux usées de la ville sur la STEP ;
- Une conduite Φ 400mm existante qui longe la route touristique du côté terre, puis la route de Soliman plage et se raccorde sur la nouvelle station d'épuration en cours de réalisation ;
- Une conduite Φ 600mm en béton armé dont le tracé est parallèle à celui de la précédente. Les deux conduites Φ 400mm Φ 600mm doivent assurer le raccordement des eaux usées du bassin versant de Borj-Cédria, Seltène et la zone touristique sur la nouvelle station d'épuration ;
- Une conduite Φ 200mm PEHD projetée dans le but de raccorder le village de Soliman plage sur la nouvelle station d'épuration. Le tracé de cette conduite prend origine au niveau du carrefour d'accès au village Soliman plage (station de pompage) et évolue le long de la route du côté Sebkha.

La station d'épuration dont les travaux sont en cours de réalisation se situe à côté de la station existante. Elle a été dimensionnée pour répondre aux besoins évalués pour l'an 2011. Les prévisions à cette époque laissent entendre les caractéristiques de charge suivantes :

- Débit max (Q_{max}) : 1860m³/h (517 l/s)
- Débit caractéristique de dimensionnement (Q_{max}) : 620m³/h (172 l/s)
- Débit moyen annuel (Q_{Moy}) : 12300 m³/j
- Flux de DBO₅ : 3900 Kg/j
- Flux de MES (déc.) : 4300 Kg/j
- Concentration moyenne DBO, par temps sec : 317g/m³
- Concentration moyenne MES, par temps sec : 350g/m³

Réseau Télécom :

Le réseau Télécom existant comprend :

- Une conduite RLA + Fibre Optique longeant la route de Soliman plage du côté opposé à la Sebkha. Cette conduite se prolonge le long de la route touristique du côté mer.
- Un réseau de conduites RLA implantées le long de la voirie du village Soliman plage.

Réseau SONEDE :

Le réseau SONEDE enquêté se compose de :

- Une conduite Φ 300mm amiante ciment longeant la route de Soliman plage entre la ville de Soliman et le Centre de Formation Professionnelle.
- Une conduite Φ 300mm AC dont le tracé suit la route touristique du côté mer jusqu'au carrefour d'accès au village de Soliman plage.
- Une conduite Φ 150mm AC permettant l'alimentation du village Soliman plage à partir de la conduite Φ 300mm.

Réseau STEG :

A défaut d'une réponse de la STEG nous nous sommes contentés du report du réseau aérien existant. Il s'agit principalement de lignes aériennes MT qui longent les axes routiers existants. Ces lignes sont généralement implantées à une distance variant entre 15 et 20 mètres de l'axe de la chaussée.

3.1.4 Les contraintes du site urbanisable

La ville de Soliman et le site urbanisable en général présente plusieurs contraintes à savoir :

- la proximité au Nord, à l'Est et au Sud de la ville de zones de sauvegarde et d'interdiction (terres agricoles et périmètres irrigués régies par la loi n° 83-87 du 11 novembre 1983 relative à la protection des terres agricoles) ;
- le passage de Oued El Bey qui traverse le périmètre urbain et pour lequel il faut prévoir une importante zone de servitude (au niveau des berges et de la zone d'épandage) ;
- la présence d'une importante zone basse du côté Nord-ouest de la ville, où il faudrait limiter le développement urbain.

Ainsi les axes d'extension de l'urbanisation sont limités, et si ce développement est maîtrisable dans certaines zones, il reste difficile à contenir sur certains axes. Nous traiterons en détail dans le paragraphe I.2.2. les tendances et les impacts de l'urbanisation au niveau de la ville de Soliman.

3.1.5 Le plan d'aménagement urbain de la ville de Soliman

Lancé en 1992, le plan d'aménagement urbain de la ville de Soliman a estimé les besoins en zones urbanisables pour la période 1992-2002.

3.1.5.1 Les besoins en zones d'habitat

Avec un taux d'accroissement de la population supposé maintenu à 2,6% pendant la période 1992-2002, la population de la commune de Soliman atteindra les 27 000 habitants en 2002, soit une population additionnelle de 7 000 habitants. Les besoins en surface sont calculés à partir des besoins en logements par une estimation du nombre des ménages avec une moyenne de 5,6 habitants par ménage et une densité de moyenne de 20 logements par hectare. Ces besoins sont de l'ordre de 62,5 hectares, le tableau suivant donne le détail de ces estimations.

Estimation des besoins en surface pour l'habitation

	1994	2005
Population	20 326	27 000
Population additionnelle		7 000
Ménages / logements (5,6 habitants par ménage)		1 250
Besoins en surface (ha)		62,5

Source : P.A.D. de la Zone touristique de Borj Cédria-Soliman

3.1.5.2 Les besoins en équipements socio-collectifs et d'infrastructures

Les besoins en terrains urbanisables pour les équipements socio-collectifs (crèche, école, mosquée, jardin public,...) ont été estimés à environ 5,4 ha. En équipements d'infrastructure, les besoins sont de l'ordre de 16 ha équivalent à environ 25% des besoins en surface pour les logements.

3.1.5.3 Les besoins en surface pour les activités

Les besoins en terrains urbanisables pour les activités a été estimé à environ 4,8 ha, à raison de 2,1 ha pour les services et 2,7 ha pour les activités industrielles. En résumé, le tableau récapitulatif suivant présente les besoins en terrains urbanisables suivant les secteurs :

Tableau récapitulatif des besoins en terrains urbanisables

Désignation	Unité	Surface (ha)	Situation
Habitat	1521 logements	65,0	urbain
Equipements	37 unités	5,4	urbain
Infrastructures	-	17,6	urbain
Activités	2708 emplois	4,8	urbain à 50%

Source : Révision du P.A.U de la ville de Soliman

Sur la base de ses besoins, et tenant compte du fait qu'un déficit de 13 ha est enregistré au niveau des réserves foncières (80 ha de terrains urbanisables sont disponibles), les principales options du P.A.U. de Soliman ont été les suivantes :

- la densification du noyau central et sa reconversion en zone d'activité, de services et de commerces ;
- l'extension urbaine sur l'axe Nord-ouest en direction de la plage où se développe un habitat social de moyenne densité ;
- l'extension urbaine sur la route de Tunis sur laquelle se développe un habitat de standing de faible densité ;
- le développement des activités industrielles sur les routes de Korbous et de Menzel Bouzelfa.

3.1.6 La ville de Soliman dans le SDA du Grand Tunis

Le Schéma Directeur d'Aménagement du Grand Tunis a accordé une grande importance à la zone de Borj Cédria - Soliman, bien qu'elle se situe en dehors des limites du Grand Tunis. Les projets touristiques et urbains programmés dans la zone, augurent d'un développement urbain d'une grande ampleur.

La difficulté d'accès à la zone à partir de la RN1 et la RR26 a impliqué l'aménagement d'un échangeur (projet en phase d'étude) au niveau de ce croisement situé à proximité de la limite Ouest du PIF de l'AFH.

3.2 La zone de la Sebkha

Située au Nord de la ville de Soliman, à l'Est de la route joignant Soliman ville à Soliman plage, la Sebkha de Soliman ou " Sebkhet El Melah" est un réceptacle des eaux de surface et profondes des avants monts de la dorsale et des versants Sud-Ouest de Jebel Abderrahmen.

3.2.1 Occupation du sol

Trois types d'occupation ont été identifiés au niveau des limites et des berges de la Sebkha, la plage, les terres agricoles et les zones urbaines. Nous présentons ci-après ces trois types d'occupation identifiés :

3.2.1.1 La plage

Un cordon dunaire consolidé, formé de sables dunaires riches en débris coquilliers, définit la limite entre le Nord-est de la Sebkha et la plage. Ce cordon, qui présente une disposition en arc, dont la concavité est en direction de la mer, est haut de 20 mètres en moyenne, et peut atteindre 33 mètres dans certains endroits.

Dans cette zone on a relevé la présence d'une ferme maricole "Biomare-tunisie", créée en août 1993, et dont l'activité consiste à la culture d'algues, et une valorisation de ces algues avec la biotechnologie algale et grâce à un partenariat de deux institutions françaises. Le produit est destiné à la cosmétique.

3.2.1.2 Les terres agricoles

Située à l'Est et au Sud de la Sebkha, la zone agricole contiguë à la Sebkha est formée d'un périmètre public irrigué "PPI" qui s'étend sur toute la partie Sud-est. Les périmètres irrigués font partie, d'après la loi n°83-87 du 11 novembre 1983 relative à la protection des terres agricoles, des zones d'interdiction. Ces zones couvrent les terres agricoles destinées à demeurer comme telles, et la modification de la vocation de ces terres ne peut être opérée que dans le cadre des lois particulières les régissant.

Sur les berges ouest de la Sebkha, on a pu enregistrer la présence d'une forte activité de chasse, qui malgré le fait qu'elle soit réglementée, reste nuisible par rapport aux populations d'oiseaux de la zone, d'autant plus que parmi les oiseaux d'eau recensés, certaines espèces sont rares.

3.2.1.3 Les zones urbaines

Deux zones composent le milieu urbain limitrophe à la Sebkha, il s'agit de :

- la zone située sur la route de la plage et composée principalement d'équipements
- le secteur de Soliman-Plage

La route de la plage :

Délimitant l'Ouest de la Sebkha et de la zone d'étude, la route de la plage est un des axes de l'extension urbaine de la ville.

Au sud et au niveau de la ville, c'est l'habitat de type social et de moyenne densité qui se développe le long et en arrière plan de la route.

En allant vers la plage au Nord, l'habitat cède la place aux équipements. On rencontre successivement le dépôt du Ministère de l'Équipement et de l'Habitat, le dépôt municipal, et enfin le centre de formation professionnelle.

La station d'épuration de la ville de Soliman, en cours d'extension, est située en arrière plan, derrière le dépôt municipal.

Sur la route de la plage et plus au Nord, on rencontre la décharge municipale située à l'intérieur de la Sebkha, on y accède par une piste perpendiculaire à la route. Cette décharge représente la principale nuisance relevée au niveau de la Sebkha, mais un projet regroupant toutes les décharges au niveau du gouvernorat de Nabeul est en cours de réalisation. Le site de cette décharge est situé près de Grombalia, et elle sera fonctionnelle fin 2003. Les travaux de réalisation, qui dureront 15 mois, démarreront le dernier trimestre de l'année 2002. L'ANPE prévoit, dans le cadre de ce projet, la restauration du site de la décharge, comme c'était le cas pour toutes les décharges délocalisées.

Le secteur de Soliman-Plage : (voir ci-dessous P.A.D. de la zone touristique de Soliman Borj Cédria)

Intégré au plan d'aménagement touristique de la zone de Borj Cédria - Soliman, le secteur de Soliman Plage (îlots U21, U22, U23, U24) est un lotissement municipal qui occupe actuellement une surface d'environ 52 ha et construit à 80%. Seul l'îlot U24 est situé dans le périmètre d'étude.

Zones d'habitat existantes au niveau de Soliman plage

Numéro de l'îlot	Surface (ha)	Nb. de lots construits	Nb. de lots vacants	Nb. Total des lots
U 21	13,80	100	29	129
U 22	1,30	-	-	-
U 23	12,00	120	36	156
U 24	25,00	320	75	395
Total	52.10	540	140	680

Source : P.A.D. de la Zone touristique de Borj Cédria - Soliman

3.2.2 Tendances de l'urbanisation - impact des nouveaux projets dans la zone

L'extension urbaine de la ville de Soliman s'est développée, d'après les responsables de la Municipalité, le PAU de la ville et l'étude des périmètres de protection pour la gestion des zones sensibles littorales allant de Soliman à Nabeul d'une façon tentaculaire, le long de plusieurs axes :

- la route de Menzel Bouzelfa caractérisée par l'installation de nombreuses entreprises industrielles ;
- la route de la plage, marquée par la présence d'un certain nombre d'équipements collectifs (lycée, centre de formation professionnelle, ...) ;

- l'axe Soliman - Bir Mroua, où on relève le développement d'une série de constructions dispersées et d'entreprises industrielles allant jusqu'à 6 km sur la route de Takelsa.

Il est à signaler, en outre, l'existence d'habitat spontané s'étalant sur une bande de 4 km le long de la RR26 reliant Soliman à Hammam-Lif et Tunis.

En plus de ces tendances, les projets engagés dans la zone allant de Borj Cedria à Soliman auront, à moyen ou à court terme, un impact sur les tendances actuelles, vu l'ampleur de ces projets et leur rayonnement ultérieur. Trois grands projets peuvent être signalés à ce propos :

- La zone touristique de Borj Cedria - Soliman, présentée ci-avant, dont le projet de plan d'aménagement est soumis à l'enquête publique, il est actuellement affiché au siège de la Municipalité.
- Le périmètre d'intervention foncière de l'AFH qui couvre environ 350 ha, dont 320 ha s'étendent sur la commune de Soliman, le reste faisant partie de la commune de Hammam Chott. L'aménagement de cette nouvelle ville permettra, à terme, d'accueillir une population de 40 000 habitants, et de résorber ainsi le déficit en terrain urbanisable dont souffre la ville de Soliman.
- Le projet de technopole à Borj Cedria, qui consiste en l'aménagement d'une zone où seraient concentrées les activités de production, de recherche et de formation supérieure, propres à favoriser des processus d'innovation et de haute technologie. Le site choisi s'étend sur 80 ha de part et d'autre de Oued Seltane et intègre l'actuel Institut National de la Recherche Scientifique et Technologique. Ce projet devrait engendrer une demande en terrains urbanisables pour loger les employés et les cadres près de leur lieu de travail.

3.2.3 Aspects fonciers

L'enquête parcellaire a démontré que la majeure partie des terrains des berges de la sebkha appartiennent ou sont occupés par des privés (voir annexe cartographique). Le plan d'eau et une fine frange des berges limitrophes font partie du Domaine Public Hydraulique. Une dizaine de terrains font partie du Domaine Privé de l'Etat mais sont occupés par des privés.

Enquête foncière

PLAN D'AMENAGEMENT DE LA ZONE TOURISTIQUE

4. VALEURS PAYSAGERES DU SITE DE LA SEBKHA DE SOLIMAN

La Sebkha de Soliman communique avec le Petit Golfe de Tunis par le biais d'un grau. A l'ouest du grau s'est développée une urbanisation balnéaire tout au long de la plage de Sidi Jehmi accélérant ainsi l'altération de la côte. En effet, il s'agit d'une zone instable, disposée au remaniement par des phénomènes d'érosion, de dépôt et de subsidence.

L'environnement géographique limitrophe de la Sebkha correspond à une alternance de collines et de plaines (dont la plaine de Soliman) drainées par des oueds dont seul l'Oued Méliane a un débit notable. Ceci explique le caractère marécageux d'une partie de la région notamment celle qui borde la Sebkha dont la vacuité est maintenue par la faiblesse des apports sédimentaires actuels.

Dans les régions marécageuses, près de la Sebkha, on note la présence exclusive d'une végétation halophile, ceci est dû à la richesse du sol en sulfate et en chlorure. Des dunes se sont récemment formées sur la partie littorale suite à un apport sableux exceptionnel, véhiculé par la mer, à la suite de la fermeture du Lac de Tunis relayée par les vents nord-ouest. Du fait du caractère meuble du sable, cette formation fragile devra être consolidée par une végétation qui fixe le sol et empêche l'érosion de remodeler le relief.



Une végétation halophile se développe aux abords de la Sebkha

4.1 Les vues

Le paysage marécageux du site, donc un relief plutôt plat et une végétation basse, offre des vues dégagées sur les alentours laissant apercevoir les assises imposantes de montagnes encadrant le site. Toute la fascination du site réside dans son plan d'eau peuplé de différentes espèces d'oiseaux. En effet, la surface bleue et scintillante de la Sebkha est ponctuée de plusieurs tâches blanches des groupements d'oiseaux occupant les lieux.

Au Nord-ouest du plan d'eau, L'urbanisation occupant le littoral constitue un obstacle physique qui cache une vue intéressante du côté nord-ouest, sur les collines de Carthage.

Au nord de la Sebkha on peut observer le grau qui lui permet de s'ouvrir sur la mer et d'y déverser le flux d'eaux chargées en provenance du continent.

Du haut des collines nouvellement formées et situées en aval du grau, on peut apercevoir le bleu de la mer plus mouvementé que celui de la Sebkha. Cette partie surélevée du site, constituée par ces collines, privilégie les promenades dans un cadre boisé et offre des vues panoramiques sur la mer ou sur la Sebkha. Ces belvédères octroient beaucoup de valeur à ce lieu pour d'éventuels aménagements.



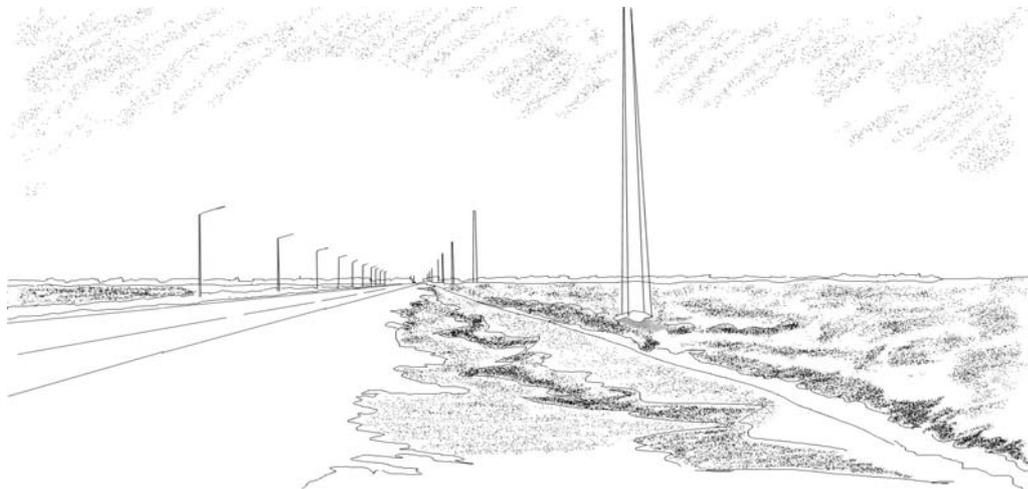
Le relief plat du site permet d'apercevoir les formes imposantes des montagnes voisines

4.2 Lecture paysagère

Un paysage de Sebkha est, en quelque sorte, un paysage particulier caractérisé par une végétation plutôt basse (dominance d'herbacées) et un relief très peu accidenté qui permet de dégager des vues panoramiques sur des horizons lointains.

En ce qui concerne la Sebkha de Soliman, on note cette horizontalité propre à ce type de sites depuis la route qui longe la zone d'étude de son côté sud-ouest (route de la plage).

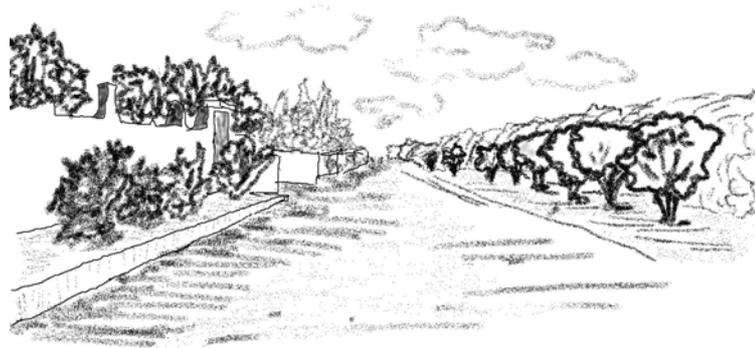
Les lampadaires de l'éclairage public qui longent cette route accentuent la perspective, se terminant par les villas de bord de mer. Ils donnent ainsi une dimension verticale à l'emprise de la route qui matérialise déjà une rupture dans le paysage naturel.



Cet alignement de lampadaires accentue la perspective matérialisée par la route de la plage

En arrière plan : une urbanisation balnéaire se développe malgré l'érosion de la plage de Soliman

En fait, toute transition entre le naturel et l'artificiel se matérialise par une rupture nette sur l'ensemble du site (sans progression). A titre d'exemple, on note un changement radical sur le plan végétal entre les plantes halophiles et celles des jardins de villas au nord de la Sebkha ; Dans ce cas, la rupture est concrétisée par une piste carrossable. Au sud, elle se traduit par des haies et des brise-vent délimitant les parcelles agricoles.



La végétation des jardins de villas contraste avec la végétation naturelle du type Sebkha.

4.3 L'appropriation des lieux par l'Homme

Le paysage de la Sebkha s'est nettement altéré par l'occupation humaine dont l'action a non seulement dénaturé la périphérie du plan d'eau mais aussi son centre même. En effet, on distingue clairement l'emplacement des anciennes salines au centre de la Sebkha dont la forme géométrique et rigide vient s'imposer face à la forme générale du site plutôt libre et naturelle.

L'homme a tout aussi domestiqué la nature du côté sud de la Sebkha en délimitant des parcelles où il a entrepris des travaux agricoles notamment de la culture maraîchère, ainsi qu'un certain nombre de vergers et d'oliveraies d'une taille moyenne. Il impose, encore une fois, ses formes régulières contrastant avec les contours tracés par la nature.



Une piste traverse les parcelles agricoles au sud de la Sebkha : des formes régulières viennent s'imposer à l'aspect naturel du site

L'effet néfaste de l'occupation humaine se traduit par la présence d'une décharge sauvage à l'Ouest de la Sebkh et d'une station d'épuration. En outre, on observe des déchets de toute sorte et différents matériaux éparpillés sur l'ensemble du site.

L'action de l'homme, telle qu'elle se développe actuellement, représente un grave danger pour l'équilibre écologique de cette zone. En effet, toute intervention humaine contribue au changement du paysage naturel initial et tout ce qu'il comporte comme faune et flore...



Des pistes traversent le site, elles facilitent l'accès de l'homme et par conséquent l'altération du milieu

4.4 Devenir du site

L'urbanisation est en train de progresser notamment du côté de Tunis dont la banlieue Sud est en train de s'étaler et risque à terme de se rapprocher de manière plus franche de la Sebkh.

Afin de préserver le caractère naturel du site, il convient de le préserver en le rendant moins hostile aux riverains. En effet, ceux-ci le considèrent plutôt comme une source de nuisance (espace sauvage, lieu de dépôt pour tout type de déchets, espace de pâturage pour ovins et bovins, nid pour les insectes et les larves de moustiques, ...).

Les riverains doivent y voir un centre d'intérêt pour participer à sa sauvegarde c'est pourquoi il serait préférable de le convertir en un parc naturel afin de répondre à la demande des habitants en matière d'espaces récréatifs qui peut constituer à la fois :

- Un espace d'intérêt écologique sous forme d'une réserve naturelle en miniature.
- Un espace d'éducation environnementale.
- Un espace ouvert pour les jeux d'enfants dans un cadre naturel.
- Un parcours de santé pour une éducation physique en pleine nature.

Un espace de contemplation et de promenade dans le calme et la méditation.