



MEDITERRANEAN ACTION PLAN

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME

**IMPLICATIONS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES
SUR LA ZONE COTIERE DE SFAX (TUNISIE)**

**IMPLICATIONS OF CLIMATE CHANGES
FOR THE SFAX COASTAL AREA (TUNISIA)**

Préparé par / Prepared by:

**K. Zouari (Coordonnateur / Coordinator)
J. Bouzid, A. Bousnina, Med. Chayeb, N. Karray, N. Bradai**

MAP Technical Reports Series No. 99

Note: The designations employed and the presentation of the material in this document do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of UNEP concerning the legal status of any State, Territory, city or area, or of its authorities, or concerning the delimitation of their frontiers or boundaries. The views expressed in this volume are those of the authors and do not necessarily represent the views of UNEP.

Note: Les appellations employées dans ce document et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part du PNUE aucune prise de position quant au statut juridique des états, territoires, villes ou zones, ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites. Les vues exprimées dans ce volume sont celles de leurs auteurs et ne représentent pas forcément les vues du PNUE.

© 1996 United Nations Environment Programme
P.O. Box 18019, Athens, Greece

ISBN 92-807-1577-1

This publication may be reproduced in whole or in part and in any form for educational or non-profit purposes without special permission from the copyright holder, provided acknowledgement of the source is made. UNEP would appreciate receiving a copy of any publication that uses this publication as a source.

No use of this publication may be made for resale or for any other commercial purpose whatsoever without prior permission in writing from UNEP

For bibliographic purposes this volume may be cited as:

UNEP: Implications of Climate Changes for the Sfax Coastal Area (Tunisia). MAP Technical Reports Series No. 99, UNEP, Athens, 1996.

Pour des fins bibliographiques, citer le présent volume comme suit:

PNUE: Implications des changements climatiques sur la zone côtière de Sfax (Tunisie). MAP Technical Reports Series No. 99, UNEP, Athens, 1996.



MEDITERRANEAN ACTION PLAN

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME

IMPLICATIONS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES
SUR LA ZONE COTIERE DE SFAX (TUNISIE)

IMPLICATIONS OF CLIMATE CHANGES
FOR THE SFAX COASTAL AREA (TUNISIA)

Préparé par / Prepared by:

K. Zouari (Coordonnateur / Coordinator)
J. Bouzid, A. Bousnina, Med. Chayeb, N. Karray, N. Bradai

MAP Technical Reports Series No. 99

This volume is the ninety-ninth issue of the Mediterranean Action Plan Technical Report Series.

This series will collect and disseminate selected scientific reports obtained through the implementation of the various MAP components: Pollution Monitoring and Research Programme (MED POL), Blue Plan, Priority Actions Programme, Specially Protected Areas, Regional Marine Pollution Emergency Response Centre for the Mediterranean Sea, Environment Remote Sensing and Protection of Historic Sites.

Ce volume constitue le quatre-vingt-dix-neuvième numéro de la série des Rapports techniques du Plan d'action pour la Méditerranée.

Cette série permettra de rassembler et de diffuser certains des rapports scientifiques établis dans le cadre de la mise en oeuvre des diverses composantes du PAM: Programme de surveillance continue et de recherche en matière de pollution (MED POL), Plan Bleu, Programme d'actions prioritaires, Aires spécialement protégées, Centre régional méditerranéen pour l'intervention d'urgence contre la pollution marine accidentelle, Centre méditerranéen de télédétection et Protection des sites historiques.

**IMPLICATIONS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES
SUR LA ZONE COTIERE DE SFAX
(TUNISIE)**

Document préparé par:

K. Zouari (Coordonnateur)

J. Bouzid, A. Bousnina, Med. Chayeb, N. Karray, N. Bradai

TABLE DES MATIERES

	Page
RESUME EXECUTIF	5
RAPPEL DES FAITS	9
1. INTRODUCTION	11
1.1. Objectifs de cette étude	11
1.2. Données générales sur le réchauffement de la planète	11
1.3. Données de base sur la zone côtière de Sfax	13
1.4. Méthodologies et postulats utilisés pour cette étude	17
2. IDENTIFICATION DE LA SITUATION ACTUELLE ET CONSEQUENCES POSSIBLES DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES FUTURS	20
2.1. Conditions climatiques et atmosphériques	20
2. 1. 1. Insolation et rayonnement solaire	20
2. 1. 2. Caractères thermiques du littoral de Sfax	20
2. 1. 3. Manifestations de l'humidité atmosphérique	23
2. 1. 3. 1. Les régimes pluviométriques moyens	23
2. 1. 3. 2. Jours pluvieux et intensité des pluies à Sfax	23
2. 1. 3. 3. La variabilité des pluies	27
2. 1. 3. 4. Mécanisme des pluies	29
2. 1. 4. Phénomènes hydrométéorologiques à Sfax	31
2. 1. 5. Les vents de surface à Sfax	31
2. 1. 6. Evaporation Piche	33
2. 1. 7. Tendances climatiques séculaires sur le littoral de Sfax	33
2. 1. 7. 1. Introduction : contrôle de la qualité des données	33
2. 1. 7. 2. Changements climatiques récents à Sfax	35
2. 2. Lithosphère	47
2. 2. 1. Cadre géologique	47
2. 2. 2. Cadre géomorphologique.	48
2. 2. 3. Pédologie.	48
2. 3. Hydrosphère	51
2. 3. 1. Hydrologie de surface.	51
2. 3. 2. Cadre hydrogéologique	52
2. 3. 2. 1. La nappe phréatique	52
2. 3. 2. 2. La nappe profonde de Sfax	58

2. 4. Ecosystèmes naturels	59
2. 4. 1. Ecosystèmes terrestres	59
2. 4. 1. 1. Ecosystèmes salés	59
2. 4. 1. 2. Ecosystèmes non salés	60
2. 4. 2. Ecosystème d'eau douce	63
2. 4. 3. Ecosystème marin	63
2. 4. 3. 1. Introduction	63
2. 4. 3. 2. Sédimentologie et biocénose	64
2. 4. 3. 3. Les paramètres physico-chimiques	65
2. 4. 3. 4. Les conditions océanographiques	67
2. 4. 3. 5. Le cadre bioécologique	70
2. 5. Les écosystèmes aménagés.	75
2. 5. 1. Agriculture	75
2. 5. 1. 1. Agriculture en sec	75
2. 5. 1. 2. Agriculture en irrigué	76
2. 5. 2. La pêche	76
2. 5. 2. 1. Introduction	76
2. 5. 2. 2. La production	77
2. 5. 2. 3. La flottille de pêche	78
2. 5. 2. 4. Etat d'exploitation des ressources halieutiques	79
2. 5. 2. 5. La population maritime	81
2. 5. 2. 6. Exportation des produits de la pêche	81
2. 5. 3. Aquaculture	82
2. 5. 4. Sylviculture	82
2. 5. 5. La pollution	82
2. 6. L'Energie et l'Industrie	82
2. 6. 1. L'énergie	82
2. 6. 2. L'industrie	84
2. 7. Le tourisme	86
2. 8. Les transports et les services	87
2. 9. L'assainissement et la santé	90
2. 10. La population et les logements	92

3.	IMPACTS POTENTIELS DES CHANGEMENTS PREVUS DANS LES SYSTEMES NATURELS ET LES ACTIVITES SOCIO-ECONOMIQUES	98
3. 1.	Tendances climatiques dans la région de Sfax	98
3. 1. 1.	Introduction	98
3. 1. 2.	Modèles et modélisation	98
3. 1. 3.	Les scénarios climatiques	99
3. 1. 3. 1.	Généralités	99
3. 1. 3. 2.	Scenarios climatiques : application à la zone côtière de Sfax	99
3. 2.	Lithosphère	101
3. 3.	Hydrosphère	104
3. 4.	Ecosystèmes naturels et aménagés	104
3. 4. 1.	Ecosystèmes terrestres et aménagés	104
3. 4. 2.	Ecosystème marin	105
3. 5.	Les activités socio-économiques	106
3. 5. 1.	Energie et industrie	106
3. 5. 2.	Tourisme	106
3. 5. 3.	Transports et services	107
3. 5. 4.	Assainissement et santé	107
3. 5. 5.	Population et logement	107
4.	RECOMMANDATIONS	108
4. 1.	Options appropriées proposées dans la cadre de cette étude.	108
4. 1. 1.	Atmosphère	108
4. 1. 2.	Lithosphère	108
4. 1. 3.	Hydrosphère	108
4. 1. 4.	Ecosystèmes naturels et aménagés	109
4. 1. 4. 1.	Ecosystème terrestre et aménagé	109
4. 1. 4. 2.	Ecosystème marin	109
4. 1. 5.	Activités socio-économiques	110
4. 1. 5. 1.	Energie et industrie	110
4. 1. 5. 2.	Tourisme	110
4. 1. 5. 3.	Transports et services	110
4. 1. 5. 4.	Assainissement et santé	110
4. 1. 5. 5.	Population et logement	111
4. 2.	Suggestions pour le suivi de cette étude	111

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	115
ANNEXE I Membres de l'équipe de travail	121
ANNEXE II Scénarios thermiques et pluviométriques pour la région de Malte élaborés par l'Université d'East Anglia et utilisés dans cette étude	123
ANNEXE III Contrôle de la qualité des données climatiques utilisées lors de ce travail	145
Planches	151

RESUME EXECUTIF

Ce document présente les implications des changements climatiques sur la zone côtière de Sfax. Cette étude fait partie de l'accord relatif au programme d'aménagement côtier pour la zone côtière de Sfax (Tunisie)

Ce programme rentre dans le cadre du plan d'action pour la Méditerranée-PNUE, conformément aux conclusions des réunions ordinaires des parties contractantes à la convention de Barcelone, en étroite coopération avec les autorités tunisiennes.

Ce rapport est le fruit d'une collaboration entre scientifiques de différentes spécialités représentant l'équipe de travail. Cette équipe a été chargée d'évaluer les éventuelles implications des changements climatiques sur les systèmes naturels et les activités socio-économiques de la zone côtière de Sfax.

Cette étude s'efforcera, entre autres: (i) d'identifier et d'évaluer les implications possibles des changements climatiques attendus sur les écosystèmes terrestre, aquatique et marin et les activités socio-économiques; (ii) de déterminer les zones ou systèmes paraissant les plus vulnérables aux changements climatiques prévus. (iii) de proposer des mesures et solutions appropriées sur l'ensemble des activités naturelles et socio-économiques, susceptibles d'atténuer les effets négatifs éventuels dus aux changements climatiques.

La zone d'étude, retenue dans le cadre de l'accord relatif au programme d'aménagement côtier pour la zone côtière de Sfax, intéresse une partie de l'espace côtier de l'agglomération sfaxienne allant du Port de commerce au Nord jusqu'à la zone de Nakta Chaïffar au Sud, soit un linéaire côtier de près de 25 km, et un arrière pays s'étendant jusqu'au km 12 sur la route d'Agareb-Gafsa et au km 25 sur celle de Gafes.

Cette zone occupe une vaste plaine faisant partie de la basse steppe dont le nivellement est pratiquement plat. Elle comprend la frange littorale sud de la ville de Sfax caractérisée essentiellement par l'existence de la grosse unité chimique de la "Siape", la zone industrielle, les salines, le pôle d'extension future de Sfax et la Médina.

La plaine sfaxienne connaît un climat steppique soumis à l'influence marine. Le régime pluviométrique est très irrégulier, avec une moyenne annuelle de l'ordre de 215 mm. Les températures varient entre 12°C en moyenne en hiver à 26°C en moyenne en été.

Sfax se caractérise par la mise en place d'une solide structure économique régionale basée sur l'agriculture, le commerce et l'industrie. Aujourd'hui, l'industrie joue un rôle important aussi bien dans la satisfaction des besoins locaux que dans le domaine de l'exportation. Cette industrie comprend, entre autres, les salines et la grande unité chimique de la "Siape" pour la transformation et la valorisation du phosphate brut. D'autres secteurs industriels sont également en plein épanouissement: textile, confection, cuir, agro-alimentaire, matériaux de construction, céramique et verre, etc...

L'industrie pétrolière, nouvelle composante de l'économie sfaxienne, se renforce de plus en plus, avec l'exploitation des gisements offshore de Miskar et d'Ashtart.

Cependant, ces unités industrielles et en particulier le secteur phosphaté, est à l'origine d'une pollution atmosphérique et hydrique très préoccupante. En effet, le traitement des phosphates à l'usine "Siape" a conduit à l'accumulation sur le littoral de Sfax de volumineux dépôts de phosphogypses.

Cette source de pollution industrielle et bien d'autres encore posent un sérieux problème environnemental.

L'agriculture est l'une des principales ressources de la région. Avec 6 millions de pieds d'oliviers en production, et près de 5 millions d'amandiers, le gouvernorat de Sfax se place au premier rang des régions productrices d'huile d'olive (45 pour cent de la production nationale) et des amandes (30 pour cent du total national). Avec ses 308 486 ha, la forêt d'oliviers de Sfax compte parmi les plus belles du monde.

L'élevage représente un secteur tout aussi important de l'économie régionale. Quant à l'industrie laitière, elle a pris pied dans le sillage de cet élevage intensif.

La pêche constitue depuis fort longtemps une place de choix dans l'économie de la ville et l'économie nationale. Sa production est de l'ordre de 30 000 t.a⁻¹, soit le tiers de la production nationale avec une exportation qui représente 70 pour cent des produits de mer tunisiens. Parallèlement à ceci, une infrastructure portuaire a suivi le même rythme.

L'évolution rapide de la région de Sfax, et en particulier le développement des modes de production industriel et agricole, entraîne des rejets inconsidérément des déchets gazeux dans l'atmosphère. Ces rejets incontrôlés pourraient conduire à une élévation progressive de la température par amplification de l'effet de serre et par conséquent à une modification évidente du climat et donc ces différents écosystèmes.

De ce fait, l'équipe de travail s'est efforcée d'élaborer un scénario climatique futur de la région de Sfax. Les résultats obtenus (température et précipitation) à partir de ce modèle climatique local, ont conduit l'équipe de travail à présenter les impacts éventuels sur les écosystèmes terrestre et marin et les activités socio-économiques, d'une part, et de proposer quelques recommandations et suggestions, d'autre part.

Le scénario climatique futur est déduit des scénarios établis par IPCC et l'Université d'East Anglia pour la région méditerranéenne. En effet, les scénarios climatiques futurs suggérés par East Anglia sur l'île de Malte se basent sur des données climatiques collectées à partir de nombreuses stations dans divers pays du bassin Méditerranéen. Plusieurs stations se trouvaient dans le territoire tunisien. De ce fait, une extrapolation à partir de l'étude de Malte a été possible et nous a permis de prévoir, pour chaque °C global, une augmentation de la température à l'horizon 2030 de l'ordre de +0,7 à +0,9°C, aussi bien à l'échelle annuelle qu'à l'échelle saisonnière. Cette augmentation serait du même ordre pour 2050 et 2100.

Concernant les pluies, le même modèle prévoit un accroissement annuel de 6 à 9 pour cent, pour chaque °C de changement global, par rapport aux valeurs actuelles. L'accroissement prévu des quantités pluviométriques serait plus sensible en hiver (de +8 à +12 pour cent) et en automne (de +5 à +10 pour cent).

Par ailleurs, l'analyse climatologique (température et précipitation) des séries séculaires de Sfax (1901-1985) met en évidence certaines tendances générales significatives.

En effet, l'analyse statistique des températures moyennes montre que pour la période de 1901-1985, ces températures accusent une nette tendance à l'augmentation. Le réchauffement annuel, à raison de 0,009 °C, est au demeurant hautement significatif.

L'application des mêmes procédures de traitement statistique aboutit, pour les pluies, à des résultats peu consistants. Si dans l'ensemble quelques signes d'augmentation sont parfois perceptibles, il n'en demeure pas moins que cette tendance générale positive reste extrêmement faible et sans signification statistique acceptable.

Les valeurs obtenues (température et précipitation), même faibles, en particulier pour la température (inférieur à 1°C) ont permis à l'équipe de travail de chercher si cette augmentation de température et de précipitation aura des impacts sur les différents écosystèmes. D'une part, et de formuler un certain nombre de recommandations, d'autre part. Parmi les recommandations avancées, on peut citer :

- L'élaboration d'un atlas climatique de la Tunisie est à encourager, celui-ci peut servir de base à toute étude de climat ou d'environnement.
- Pour que les modèles de simulation ne restent pas à un stade de développement initial et afin de minimiser les marges d'incertitude, il est indispensable d'installer des stations permettant de fournir des données fiables et régulières en particulier sur la pression, la pluviosité, la température, l'insolation, le rayonnement infrarouge du sol, les vents et l'humidité de l'air.
- Pour contrôler les émissions de gaz produites dans l'atmosphère (CO₂, SO₂, SO₃, NO₂, etc...) et les aérosols atmosphériques et en particulier ceux d'origine anthropique, il est nécessaire d'installer des réseaux de surveillance au niveau des secteurs industriels.

Si la présence de ces divers éléments chimiques conduit à une pollution atmosphérique évidente des actions, de traitement des fumées par diverses méthodologies au niveau des sources d'émissions polluantes, seraient tout à fait souhaitables. Il serait aussi souhaitable de :

- Sensibiliser d'avantage les industriels en les incitant à respecter vigoureusement l'environnement et les normes en vigueur.
- Pour mieux apprécier l'impact d'une éventuelle hausse du niveau marin, une action sur la dynamique littorale de la région de Sfax est fortement conseillée. Celle-ci permettra de proposer un scénario évolutif tenant compte des interactions entre la vitesse de subsidence, le taux de sédimentation et les apports terrigènes.
- Développer une action sur l'évaluation et la gestion des ressources en eau de la région de Sfax, afin de répondre à une demande de plus en plus croissante causée notamment par les transformations industrielles et agricoles, sans toutefois compromettre la qualité des eaux et le danger réel d'intrusion d'eau de mer.

Enfin, nous recommandons la structuration de l'effort de recherche en Tunisie sur le domaine de la Climatologie et Paléoclimatologie et Environnement. Que des réunions scientifiques dans ce sens, soient régulièrement tenues pour permettre aux scientifiques de discuter l'évolution des recherches dans ce domaine, afin que les décisions prises à l'échelle locale, régionale et globale soient fondées sur une argumentation rationnelle.

RAPPEL DES FAITS

Dans le cadre des efforts déployés par le programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) destinés (i) à l'analyse des incidences possibles dues aux changements climatiques et (ii) à aider les gouvernements à concevoir les politiques et les mesures susceptibles de prévenir ou d'atténuer ces incidences, ou bien de s'adapter avec elles, des équipes de travail ont été créées en 1987. Ces équipes travaillant dans six régions faisant parties du Programme des mers régionales parrainé par le PNUE (Méditerranée, Caraïbes, Pacifique Sud, Mer de l'Asie de l'Est, Mer de l'Asie du Sud, Pacifique Sud-Est), sont chargées d'entreprendre des études de l'impact des changements climatiques sur les écosystèmes marins et côtiers, ainsi que sur les structures et les activités socio-économiques dans ces régions.

De nouvelles équipes ont ensuite été constituées pour réaliser le même type de travail en Afrique de l'Ouest et Centrale, l'Afrique de l'Est, le Golfe arabo-persique, le golfe d'Aden / mer Rouge, et la mer Noire.

Lors des travaux menés dans la région méditerranéenne (1987 à 1989), il a été constaté que, si les effets généraux pourraient être similaires sur l'ensemble de la région méditerranéenne, les interventions contre les incidences devraient être fortement spécifiques à chaque site. Par conséquent, dans le cadre de l'équipe de travail méditerranéenne, six études de cas spécifiques ont été préparées en 1989 (deltas de l'Ebre, du Rhône, du Pô et du Nil, golfe Thermaïque et lacs d'Iconkeul/Bizerte). Les résultats finaux de ces travaux ont été publiés dans le livre "Climatic change and the Mediterranean" (sous la direction de L. Jelfic, J.D. Milliman et G. Sestini), Edit. Edward Arnold, Londres, 1992.

Cependant, lors de l'élaboration de ces études de cas, il est apparu que la prévision des impacts était restreinte à cause de l'absence des scénarios des climats futurs à l'échelon régional, sous-régional et local. C'est pour cette raison que l'unité de recherche climatique de l'Université d'East Anglia a été chargée par le PNUE d'établir un scénario pour le bassin méditerranéen et d'élaborer des scénarios des climats locaux futurs pour les six études retenues.

En 1990, en tirant profit de l'expérience acquise lors des études de cas de "première génération", des études de cas de "deuxième génération" ont été amorcées pour l'île de Rhodes, la baie de Kastela, le littoral syrien, les îles de Malte et les îles de Cres-Losinj.

Ces études avaient pour objectifs:

- d'identifier et d'évaluer les implications possibles des changements climatiques attendus pour les écosystèmes terrestres, aquatiques et marins, la population, les pratiques d'utilisation du sol et de la mer et autres activités humaines;
- de déterminer les zones ou systèmes paraissant les plus vulnérables aux changements climatiques prévus;
- de proposer des mesures susceptibles d'atténuer ou de prévenir les effets négatifs des changements attendus, ou de s'adapter à eux, en recourant à la planification et à la gestion des zones et ressources côtières, en se basant sur des données actuellement disponibles et des meilleures extrapolations possibles réalisées à partir de ces données.

Les résultats finaux de ces cinq études de cas ont été présentés à la réunion sur les implications des changements climatiques pour les zones côtières de la Méditerranée qui s'est tenue à Malte en septembre 1992. Le rapport de cette réunion comprenant les principaux résultats, les conclusions et les recommandations, a été publié sous le code UNEP (OCA)/MED WG.55/7.

Des études de cas de "troisième génération" ont été lancées en 1993 dans le cadre du Programme d'aménagement côtier (PAC) spécifique de sites. Ces études concernent la région de Fuka-Matrouh, le littoral albanais et le littoral de Sfax. Pour chacune de ces études, des équipes de travail ont été constituées et la même procédure a été suivie comme dans le cas des études de "deuxième génération".

Le présent rapport concerne l'action sur les implications des changements climatiques sur la zone côtière de Sfax. Ce travail a été réalisé par une équipe d'enseignants universitaires appartenants à différentes disciplines (Annexe I). Ces dernières couvrent les domaines des sciences naturelles et sociales. Les membres de l'équipe possèdent des connaissances approfondies sur le secteur d'étude.

En outre, les autorités nationales et régionales, et en particulier les responsables du programme PAC en Tunisie, ont énormément aidé l'équipe chargée de la réalisation de cette action.

D'autre part, l'équipe de travail a énormément collaboré avec le Consultant PNUE.

En effet, les grandes lignes de ce travail, les différentes étapes de son avancement et les recommandations suggérées par l'ensemble de l'équipe ont été largement discutées avec le consultant PNUE.

1. INTRODUCTION

1.1. Objectifs de cette étude

Cette étude fait partie de l'accord relatif au programme d'aménagement côtier de la zone de Sfax. Ce programme rentre dans le cadre du plan d'action pour la Méditerranée-PNUE, conformément aux conclusions des réunions ordinaires des parties contractantes à la convention de Barcelone, en étroite coopération avec les autorités tunisiennes.

Le programme est axé sur l'instauration et la promotion du processus de planification et de gestion intégrée des ressources côtières et sur le développement durable. Celui-ci se compose de dix actions répondant à l'objectif général.

Le présent rapport fait l'objet de l'action portant sur: "l'impact des changements climatiques prévus sur la zone côtière de Sfax"

Les objectifs à long terme de ce programme consistent, (i) à proposer un concept de développement de la zone côtière de Sfax en harmonie avec la capacité réceptrice de l'environnement; (ii) à créer les conditions d'établissement du système de planification et de gestion intégrée des ressources dans la zone

Quant à l'objectif immédiat du programme, il consiste à fournir, à travers les diverses activités, des solutions aux problèmes de l'environnement les plus urgents.

Ainsi, cette étude se propose:

- d'évaluer les effets éventuels de hausses de la température sur les écosystèmes terrestre, aquatique et marin (notamment les effets possibles sur les espèces importantes du point de vue économique);
- d'examiner les effets des changements climatiques sur les structures et activités socio-économiques (la détermination des zones ou systèmes apparaissant les plus vulnérables aux changements pré-cités);
- de proposer des options appropriées de gestion et d'intervention générale par l'examen des effets éventuels de modifications du niveau de la mer sur les écosystèmes.

1.2. Données générales sur le réchauffement de la planète

Le réchauffement global de la terre prévu au cours du siècle prochain constitue désormais une des préoccupations climatiques majeures actuelles. L'intérêt assigné à ce problème réside sans doute dans le fait que ce changement prévu du climat semble avoir une origine plutôt anthropique que naturelle. Le mécanisme de ce réchauffement est désormais assez bien connu. Il résulte d'une augmentation de la concentration en gaz carbonique (CO₂), et en d'autres gaz comme le méthane (CH₄), l'oxyde nitreux (N₂O), l'ozone (O₃) et les chlorofluorocarbones (CFCs). Ces gaz, bien qu'ils représentent un volume extrêmement faible dans l'atmosphère, jouent un rôle radiatif important dans la mesure où ils piègent le rayonnement infrarouge de surface et contribuent, par effet de serre, au réchauffement de l'atmosphère.

Cependant, ces gaz ne contribuent pas avec le même degré à l'intensification de l'effet de serre. Dans l'ensemble, plus de la moitié de la perturbation du bilan radiatif de la terre est attribuée au CO₂.

Toutefois, la vapeur d'eau (H_2O) représente le gaz le plus important dans l'effet de serre en raison surtout de sa grande capacité d'absorption du rayonnement aussi bien dans le visible que dans l'infrarouge. Il constitue un élément interne du système climatique et son taux n'est pas directement déterminé par les activités humaines. Sa source est "naturelle" et trouve son origine dans l'océan mondial et l'évapotranspiration. La vapeur d'eau joue un rôle de premier plan dans l'intensification de l'effet de serre dans la mesure où le réchauffement prévu de la basse atmosphère va favoriser l'évaporation et accroître par conséquent l'humidité atmosphérique.

Depuis la révolution industrielle, la consommation des combustibles fossiles et la déforestation, notamment dans la zone tropicale, ont engendré une augmentation de la concentration en CO_2 de l'ordre de 26 pour cent. Une proportion équivalente correspond globalement aux autres gaz à effet de serre. Ainsi, le CO_2 , le méthane et l'oxyde nitreux (N_2O) ont tous une source naturelle et humaine, alors que seuls les CFCs ont une source "industrielle"

La concentration actuelle du CO_2 (1990) est de 353 ppmv, soit 25 pour cent de plus que celle qui caractérise la période pré-industrielle (1750-1800) où le taux de concentration est estimé à 280 ppmv. Au rythme actuel, le CO_2 augmente à raison de 1,8 ppmv par an (+0,5 pour cent) et on prévoit que sa concentration sera entre 415 et 480 ppmv à l'horizon 2050 et entre 460 et 560 ppmv vers la fin du siècle prochain. L'augmentation croissante des émissions de gaz carbonique nécessite, si on veut maintenir sa concentration au niveau actuel, une réduction immédiate de l'ordre de 60 à 80 pour cent notamment pour l'hémisphère Nord qui concentre à lui seul 95 pour cent de ces émissions d'origine industrielle.

L'effet de serre est par ailleurs entretenu particulièrement par le méthane (CH_4), l'oxyde nitreux (N_2O) et les chlorofluorocarbones (CFCs). Les gaz à effet de serre se caractérisent par une concentration différente et contribuent inégalement au forçage radiatif. Les estimations les plus récentes effectuées pour la dernière décennie attribuent à ces gaz un forçage radiatif dans des proportions différentes.

Si aucune action n'est entreprise en vue de réduire ces émissions, la communauté scientifique, en se basant sur des modèles, prévoit un réchauffement de l'ordre de 2 à 5 °C au prochain siècle, ce qui constitue un taux d'accroissement jamais enregistré durant les derniers 10 000 ans.

En outre, la cyclogenèse et les chutes de pluie sont souvent favorisées par les contrastes de température entre la terre et la mer. Comme la terre et la mer ont des inerties thermiques effectives différentes, un échauffement à grande échelle pourrait retentir sur ce contraste, en le réduisant éventuellement pendant les mois d'hiver, conduisant ainsi à une réduction des pluies et des épisodes orageux, en particulier dans le bassin oriental. En revanche, des températures plus élevées de la surface de la mer, tant en Méditerranée que dans l'Atlantique Nord, pourraient conduire à augmenter l'humidité atmosphérique et par conséquent les précipitations.

Un réchauffement de l'atmosphère a pour autre répercussion majeure un relèvement accéléré du niveau des mers en raison de la fonte des glaciers alpins et polaires et de l'expansion thermique des eaux océaniques. Le niveau de la mer s'est élevé depuis le dernier maximum glaciaire, il y a environ 18 000 ans (soit une élévation de l'ordre de 10 mm.a^{-1}). Au cours des temps historiques récents, le taux a été de 0,5 à $1,5 \text{ mm.a}^{-1}$. L'analyse des données jaugées de marée, la principale source indicatrice pour détecter les tendances du niveau de la mer relativement à court terme, autorise à penser qu'au niveau mondial le relèvement a été d'environ 10-15 cm au cours des 100 dernières années.

Selon l'ampleur de l'expansion thermique océanique et le comportement des calottes glaciaires polaires (Groenland et plate-forme flottante de l'Ouest de l'Atlantique), la gamme des estimations, prudentes à modérées, du relèvement du niveau des mers est de 13-39 cm (d'ici 2025), 24-52 cm (d'ici 2050), et 35-100 cm (d'ici 2100).

Il y aura cependant un important décalage dans le temps du relèvement du niveau des mers, associé à l'inertie thermique océanique. Par exemple, si la concentration en gaz à effet de serre cessait d'augmenter en l'an 2030, le réchauffement se poursuivrait pendant plusieurs décennies. Comme la fonte glaciaire et l'expansion thermique des océans se poursuivraient donc, il en irait de même pour le relèvement du niveau de la mer.

Les effets du compactage tectonique et sédimentaire local se superposeront au relèvement du niveau des mers. Des mouvements terrestres verticaux se produisent couramment en Méditerranée avec un taux de 1 à 5 mm a⁻¹ si l'on retient la moyenne sur des milliers d'années, et a un taux de 3 à 20 mm.a⁻¹ si l'on retient la moyenne sur 15-20 ans. La subsidence locale peut dépasser 5 mm.a⁻¹. Il s'ensuit qu'à l'avenir le coût économique de la protection ou de l'abandon d'ouvrages ou de terres sur le littoral méditerranéen dépendra grandement des mouvements terrestres locaux associés à la hausse du niveau des mers. En cas de subsidence de terre, la modification relative nette pourrait être bien plus importante que la hausse eustatique globale du niveau des mers; en cas d'élévation des terres, la modification relative sera notablement réduite.

1.3. Données de base sur la zone côtière de Sfax

La zone d'étude intéresse une partie de l'espace côtier de l'agglomération "sfaxienne" allant du port de commerce au Nord jusqu'à la zone de Nakta Chaffar au Sud, soit un linéaire côtier de près de 25 km, et un arrière pays s'étendant jusqu'au km 12 sur la route d'Agareb-Gafsa et au km 25 sur celle de Gabès (Figure 1)

Cet espace côtier est choisi conformément à la délimitation retenue dans l'accord relatif au programme d'aménagement côtier pour la zone côtière de Sfax. Toutefois, afin d'assurer la fiabilité et la représentativité des informations avancées, nous avons été parfois contraints de déborder au delà de cet espace retenu.

Cette zone occupe une vaste plaine faisant partie de la basse steppe dont le nivellement est pratiquement plat. Elle comprend la frange littorale sud de la ville de Sfax caractérisée essentiellement par l'existence de la grosse unité chimique de la "Siapa", la zone industrielle, les saïnes, et le pôle d'extension future de Sfax: Thyna avec le parc urbain, la zone d'accueil futur pour le projet de Miskar et la zone d'activités balnéaires de Nakta Chaffar (appelée dans le futur à être une zone touristique) et la Médina avec son aspect culturel (Figure 2).

Sfax, deuxième ville dans le pays après Tunis, connue dans le passé sous le nom de "THYNA", a conservé les empreintes de différentes civilisations.

La région sfaxienne est bordée à l'Est par la mer Méditerranée sur plus de 230 km. La superficie totale est de l'ordre de 708 600 hectares dont 638 000 cultivables.

Le paysage général de l'agglomération de Sfax et de ses environs est marqué par la prédominance d'un relief de plaines très basses et légèrement vallonnées. Il s'agit généralement de vastes cuvettes alluviales, occupées parfois par des sebkhas plus ou moins étendues. Le relief tend à devenir plus vallonné vers le littoral et plus plat vers le Sud.

La plaine sfaxienne connaît un climat steppique soumis à l'influence marine. Le régime pluviométrique est très irrégulier, la pluviométrie interannuelle diminue de 300 mm au Nord à 150 mm au moyenne au Sud, le littoral étant généralement plus arrosé que l'intérieur, avec une moyenne annuelle de l'ordre de 215 mm. Les températures varient entre 12°C en moyenne en hiver à 26°C en moyenne en été.

Ces faibles précipitations et la nature perméable des sols sableux dans cette région, expliquent l'indulgence de l'écoulement, l'importance de l'endoréisme qui se traduit par la présence de nombreuses garaas et sebkhas, et la limitation de l'écoulement exoreique.

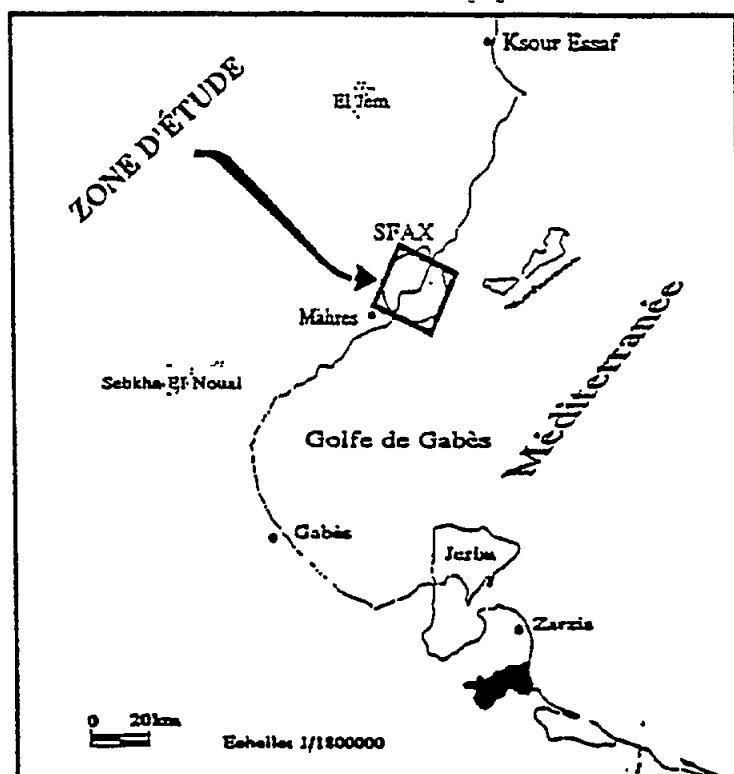
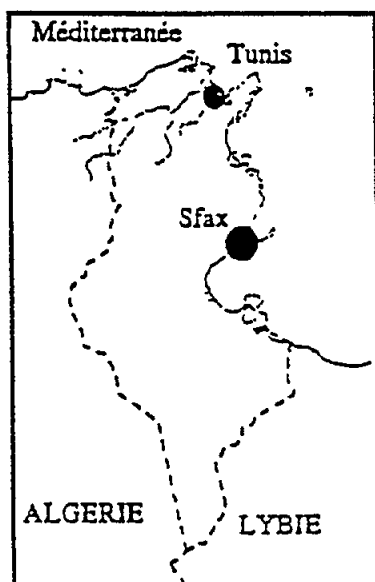


Figure 1 - Localisation de la zone d'étude

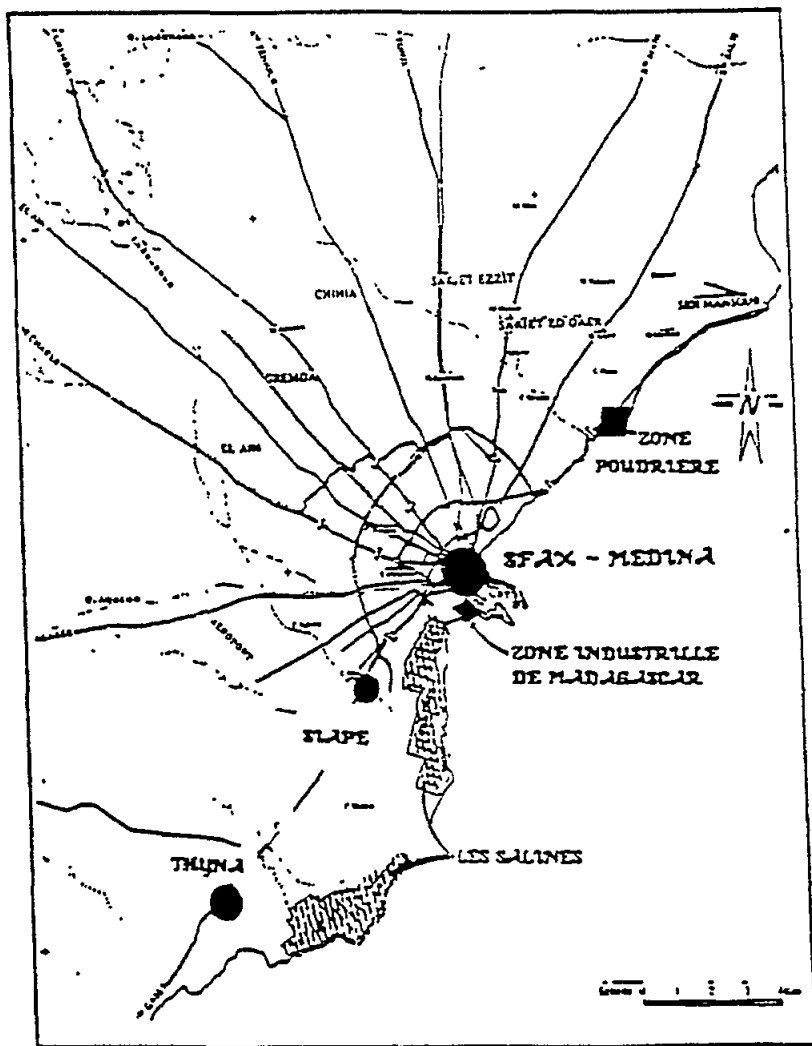


Figure 2 - Les grosses unités industrielles du secteur d'étude

Les ressources en eau s'élèvent à 50 millions de mètres cubes (nappes phréatiques et profondes). Toutefois, la salinité qui varie entre 2,5 et 10, rend généralement l'eau impropre à la consommation.

L'alimentation de la ville en eau potable se fait à partir des eaux de la région de Sbeitla (Centre Ouest de la Tunisie) grâce à une canalisation longue de 219 km.

De plus, compte tenu de la valeur presque sacrée que la population attribue à l'eau, la majorité des maisons sont équipées de "majel". Ces ouvrages traditionnels permettent la collecte des eaux de pluie.

La ville de Sfax concentre plus de 53 pour cent de la population de l'ensemble du gouvernorat, soit près de 400 000 habitants (recensement 1994). Cette population croît avec un taux moyen de l'ordre de 2,1 pour cent par an. Celui-ci est l'un des plus faibles de la Tunisie. Ce faible accroissement se traduit, au niveau de l'agglomération, par un relâchement de la densité urbaine moyenne (20 hab.ha⁻¹ en 1994)

Sfax constitue le pôle d'une vaste région qui connaît depuis l'époque romaine et byzantine, une activité économique intense, ayant joué le rôle de plaque tournante entre les courants économiques et culturels véhiculés par les trafics maritimes et trans-sahariens. La particularité de cette région est la mise en place d'une solide structure économique régionale basée sur la synthèse agriculture - commerce - industrie. Son industrie aujourd'hui, qui joue un rôle important aussi bien dans la satisfaction des besoins locaux que dans le domaine de l'exportation, l'emporte sur l'agriculture.

En effet, environ 400 hectares aménagés ou en instance d'aménagement sont réservés à l'industrie. A cette superficie, s'ajoute 100 hectares qui serviront de parc industriel et technologique dans la localité de Thyna.

La zone côtière, objet de cette étude, abrite à elle seule plus de 90 pour cent du tissu industriel. Elle comprend la zone industrielle, les salines et la grande unité chimique de la "Siape". Cette dernière permet la transformation et la valorisation du phosphate brut, et par conséquent l'implantation d'une industrie locale de production d'acide phosphorique et d'engrais.

D'autres secteurs industriels sont également en plein épanouissement. En effet, les statistiques avancent le chiffre de 4000 entreprises réparties sur divers domaines: textile, confection, cuir, menuiserie, électricité, électronique, agro-alimentaire, matériaux de construction, céramique et verre, etc...

L'industrie pétrolière, nouvelle composante de l'économie sfaxienne, se renforce de plus en plus, et ce par l'installation au cours des dernières années de la firme British Gas, ayant la charge d'exploiter les gisements off shore de Miskar et d'Ashtart. Un terminal et une usine de liquéfaction de gaz à Nakta ont été aménagés à cet effet.

Cependant, ces unités industrielles et en particulier le secteur phosphaté, sont à l'origine d'une pollution très préoccupante. En effet, le traitement des phosphates à l'usine "Siape" a conduit à l'accumulation sur le littoral de Sfax de volumineux dépôts de phosphogypses. Ce sous-produit couvre une superficie d'environ 30 hectares sur une hauteur de 30m. D'autres dépôts, encore plus importants (57 ha), se trouvent en plein centre ville, baignant dans la Méditerranée.

Cette source de pollution industrielle et bien d'autres encore (rejets en mer de liquides fortement chargés en métaux lourds, rejets gazeux d'origines variées, etc.) ont posé un sérieux problème environnemental. Cette situation a conduit les autorités à interdire les plages aux baignades depuis 1978.

Pour remédier partiellement à cette situation, les pouvoirs publics ont décidé, dans le cadre d'un grand projet intitulé " projet Taparura", d'entreprendre la dépollution de ce littoral en visant la création de 5 km de plage par gain d'environ 150 ha de terrain sur la mer, permettant l'installation de zones de loisirs.

D'autre part, l'agriculture est l'une des principales ressources de la région. Avec 6 millions de pieds d'oliviers en production, et près de 5 million d'amandiers, le gouvernorat se place au premier rang des régions productrices d'huiles d'olives (45 pour cent de la production nationale) et des amandes (30 pour cent du total national). Avec ses 308 486 ha, la forêt d'oliviers de Sfax compte parmi les plus belles du monde.

L'élevage représente un secteur tout aussi important de l'économie régionale. Quant à l'industrie laitière, elle a pris pied dans le sillage de cet élevage intensif, et l'on totalise 20 000 tonnes et plus de lait par année.

La pêche constitue depuis fort longtemps une place de choix dans l'économie de la ville et l'économie nationale. Sa production est de l'ordre de 30 000 t.a⁻¹, soit le tiers de la production nationale avec une exportation qui représente 70 pour cent de produits de mer tunisiens. Parallèlement à ceci, une infrastructure portuaire a suivi le même rythme.

1.4. Méthodologies et postulats utilisés pour cette étude

L'étude de l'impact des changements climatiques sur la zone côtière de Sfax repose sur:

- Les résultats obtenus à partir des traitements des données climatiques disponibles sur la région de Sfax.
- Les postulats admis à la deuxième conférence mondiale sur le climat (Genève 1990), à savoir un accroissement de la température de 2 à 5°C et une augmentation du niveau des mers de 35 à 100 cm d'ici la fin du XXI siècle.
- Les résultats des scénarios de changement climatique en Méditerranée élaborés par l'unité de recherche climatique de l'Université d'East Anglia, R.U.

En ce qui concerne le scénario climatique futur relatif à la zone côtière de Sfax (température et précipitation), celui-ci a été déduit des scénarios établis par IPCC et l'Université d'East d'Anglia. En effet, les scénarios suggérés par East Anglia sur l'île de Malte se basent sur des données climatiques prises à partir de nombreuses stations dans divers pays du bassin Méditerranéen dont plusieurs se trouvaient dans le territoire tunisien. Ceci, nous a permis de faire une extrapolation à partir de l'étude faite sur Malte et nous a conduit à avancer les résultats qui figurent dans le tableau 1.

Quant aux détails relatifs à l'aspect méthodologie, ils sont exposés dans l'Annexe II.

L'interprétation des résultats: Problèmes et précautions

L'interprétation des résultats des scénarios appelle beaucoup de prudence et à ce propos, plusieurs points importants méritent d'être rappelés:

- Ces scénarios ne constituent pas de véritables prévisions et ne doivent guère être considérés comme telles dans la mesure où beaucoup d'incertitudes persistent à propos de ces scénarios. C'est la raison pour laquelle on préfère utiliser le terme "scénario" plutôt que "prévision".

Tableau 1 : Scénarios du climat futur de Sfax déduits des scénarios établis par IPCC et l'Université d'East Anglia

SCENARIOS	HORIZON		
	2030	2050	2100
<u>IPCC GLOBAL</u>			
Température	+1,8°C	-	+2 à +5°C
Niveau de la mer	+18cm ±12 cm	-	+65cm ±35cm
<u>IPCC Sud de l'Europe</u>			
Température	+2°C en hiver +2 à +3°C en été	-	-
Pluies	+0 à +10 % en hiver -15 à -25 % en été	-	-
Humidité du sol	-15 à -25 % en été	-	-
<u>Univ. East Anglia Med</u>	Pour chaque °C Global		
Pluies	+3 % en hiver -3 % en été		
<u>UNEP Task Teams</u>			
Température	-	+1,5 à +3°C	-
Niveau de la mer	-	+38 ±14 cm	-
<u>Sfax déduit du modèle East Anglia sur Malte</u>	Pour chaque °C Global		
Température			
Annuelle	+0,8 à 0,9°C	Comme pour 2030	Comme pour 2030
Hiver	+0,8 à 0,9°C		
Printemps	+0,7 à 0,8°C		
Eté	+0,8°C		
Automne	+0,8 à 0,9°C		
Pluies *			
Annuelles	+6 à +9 %		
Hiver	+8 à 12 %		
Printemps	0 à -6 %		
Eté	Non prévu		
Automne	+5 à +10 %		

* Changement des pluies en pour cent par rapport aux valeurs actuelles.

- Les nombreuses incertitudes qui entourent le réchauffement prévu concernent l'échéance précise de son occurrence, sa magnitude ainsi que les "nuances" régionales. Ces incertitudes résultent du fait que l'on connaît encore mal tout le fonctionnement du système climatique, ses mécanismes profonds, les nuages (processus de microphysique) ainsi que les sources et les "puits" des gaz à effet de serre. Dans le même ordre d'idée, il est nécessaire d'évoquer le rôle, combien crucial, de l'océan (mondial). En effet, tous les modèles utilisés considèrent le couple océan -atmosphère uniquement au niveau de l'interface, c'est-à-dire dans sa composante superficielle. Or, l'océan ne réagit pas à toute perturbation de forçage radiatif par ses eaux de surface, mais aussi par le biais de ses eaux profondes dont les réactions, non moins importantes, nécessitent un temps de réponse beaucoup plus long. Ainsi, la circulation océanique profonde peut atténuer considérablement l'action des agents à forçage radiatif. Or, ces brassages profonds ne sont pas pris en compte dans les différents modèles.
- Sans déconsidérer l'intérêt des modèles climatiques actuellement disponibles, il y a lieu d'indiquer néanmoins que la paramétrisation des différentes composantes du système climatique demeure, somme toute, très schématique.
- Les futures émissions de gaz carbonique ne peuvent être prévues avec précision en raison des incertitudes relatives aux politiques économiques ainsi qu'aux différentes stratégies possibles de consommation de l'énergie. La question devient plus cruciale quand il s'agit des pays en voie de développement.
- La sensibilité climatique ($2 \times \text{CO}_2$) varie sensiblement d'un modèle à un autre, parfois du simple au double.
- Les différents scénarios ont un faible degré de confiance ("low confidence") notamment du simple au double.
- La source majeure des incertitudes demeure associée aux rétroactions (feed-back) qui régissent le système climatique global tant au niveau de leur nombre que de leur extrême complexité. Une théorie récente attribue, non sans raison, à l'atmosphère un comportement... chaotique.

2. IDENTIFICATION DE LA SITUATION ACTUELLE ET CONSEQUENCES POSSIBLES DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES FUTURS

2.1. Conditions climatiques et atmosphériques

2.1.1. Insolation et rayonnement solaire

Par sa position géographique, le climat de Sfax est fortement imprégné par les facteurs radiatifs. Le littoral sfaxien jouit, en effet, d'un ciel souvent bien dégagé. Le nombre d'heures moyen annuel d'insolation s'élève à 3185 heures, ce qui correspond à un indice moyen d'insolation de 72 pour cent. Bien qu'elle soit élevée, l'insolation à Sfax demeure néanmoins comprise entre celle de Monastir au nord (2861 heures) et de Gabès au sud (3258 heures) (A.El Cafsi, 1988).

A l'échelle mensuelle et saisonnière, l'ensoleillement reste important durant toute l'année et oscille entre 6,1 heures par jour en janvier et 12,3 heures par jour en juillet, mois le plus ensoleillé de Sfax, comme d'ailleurs pour toute la Tunisie. Ces valeurs moyennes de l'insolation quotidienne dissimulent néanmoins une variabilité dont l'intensité varie sensiblement d'une saison à l'autre (Figure 3).

Exprimées à partir de l'écart-type (σ), la variabilité de l'insolation augmente à partir du mois de septembre ($\sigma = 2.5$) et croît progressivement jusqu'à atteindre son maximum en avril où elle atteint 3.4. Cela peut être attribué directement au dynamisme des situations synoptiques dans la mesure où, durant cet intervalle, le littoral de Sfax est soumis directement à l'influence des processus de l'advection polaire. C'est en effet, au cours de cette "saison" que les pluies acquièrent une importance relative.

À partir du mois de mai, les processus polaires s'affaiblissent considérablement. Les situations anticycloniques deviennent dès lors prédominantes. La stabilité du temps assure, par conséquent, une insolation peu variable notamment en juillet durant lequel l'écart-type chute à son plus bas niveau, soit 1,2 heure seulement.

En août pour la période 1971-80, l'indice d'insolation manifeste des valeurs particulièrement élevées (Figure 4). Les indices minima caractérisent janvier et février avec 62 pour cent. Par la suite, on constate une augmentation progressive de l'ensoleillement qui atteint ses valeurs maximales en été et en particulier en juillet avec 87 pour cent.

À la faveur donc d'une nébulosité faible, le littoral de Sfax bénéficie par ailleurs d'un apport substantiel de l'énergie solaire comme en témoignent les quantités annuelles enregistrées pour la période 1968-80 et qui s'élèvent à 163 Kcal.cm⁻².a⁻¹. La radiation globale moyenne mesurée varie de 8 Kcal.cm⁻².mois⁻¹ en décembre à 20 Kcal.cm⁻².mois⁻¹ en juillet.

2.1.2. Caractères thermiques du littoral de Sfax

L'excédent énergétique influe d'ailleurs beaucoup sur l'ambiance thermique. La région de Sfax connaît un climat thermique de type méditerranéen assez chaud. La température moyenne annuelle s'élève à 19,0°C ($\pm 0,06$ °C). Le régime thermique est simple et marqué par l'alternance de deux saisons fort distinctes (Figure 5):

L'hiver, qui s'étend (pratiquement) de décembre à avril, se caractérise en particulier par sa douceur. La température moyenne s'élève à 12,3°C ($\pm 0,09$ °C). Les maxima moyens diurnes évoluent autour de 16,9°C ($\pm 0,11$ °C), alors que les minima nocturnes chutent à 7,8°C ($\pm 0,11$ °C) en moyenne. En aucun mois, la température moyenne ne descend au-dessous de 10°C. En janvier et février, mois les plus froids de l'année, la température moyenne se situe à 11,5°C et 12,5 °C respectivement.

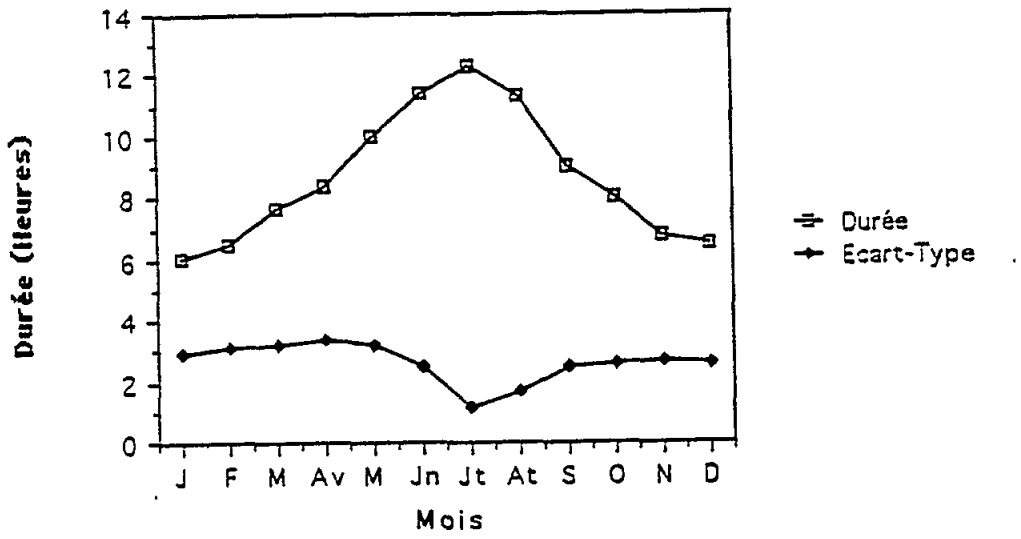


Figure 3 - Régime mensuel de l'insolation à Sfax (1971-80)

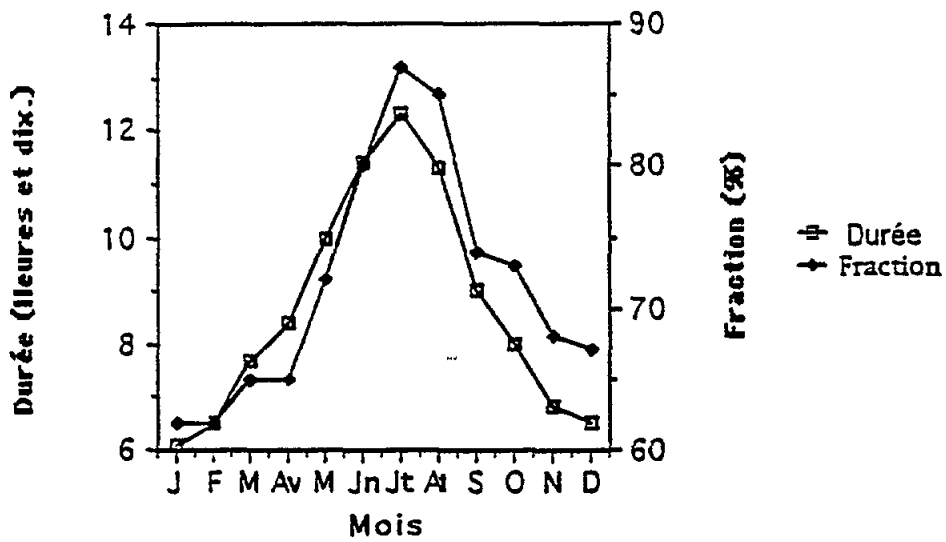


Figure 4 - L'insolation à Sfax (1971-80)

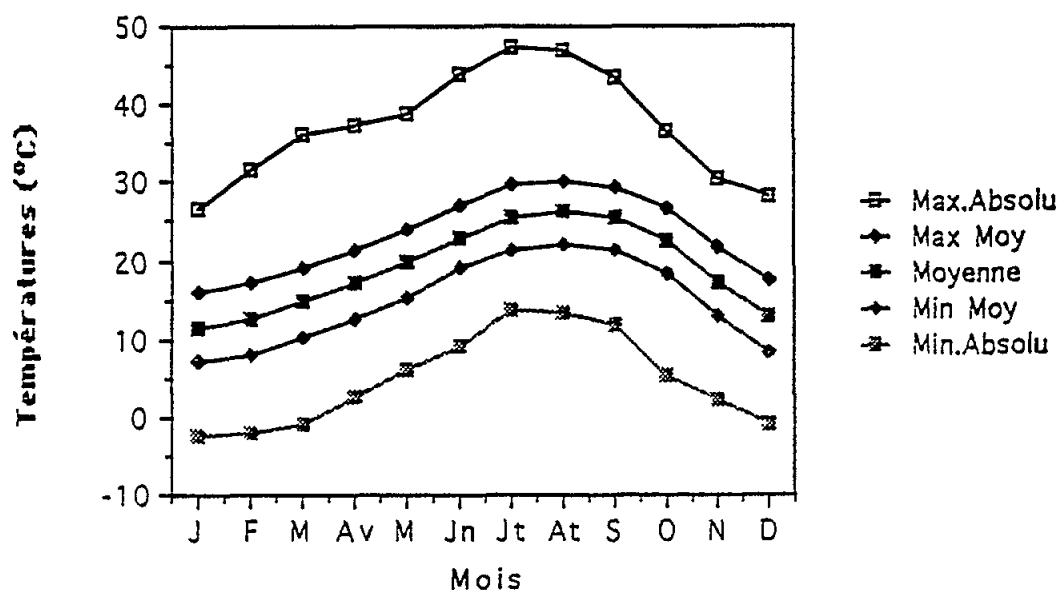


Figure 5 - Régime mensuel des températures à Sfax

Cette douceur hivernale n'exclut pas pour autant la manifestation d'advections froides polaires responsables d'un fléchissement notable des températures. Occasionnellement, des vagues de froid intense provoquent des chutes remarquables des températures qui deviennent négatives comme cela a été le cas, par exemple, au mois de décembre 1951 (-1,0°C) et de janvier 1957 (-2,3 °C).

Les gelées demeurent un phénomène rare mais leur manifestation peut être observée en mars. On compte en moyenne 1 à 2,5 jours de gelée par an (période: 1951-50). Lorsqu'elles se manifestent, les gelées caractérisent en particulier janvier et février. Elles résultent le plus souvent d'un refroidissement radiatif. 36 pour cent des gelées sont ainsi enregistrées par ciel clair et près de 80 pour cent des gelées (sous abri) coïncident avec une nébulosité inférieure à 2 octas.

L'été, fortement contrasté par rapport à l'hiver, l'été se caractérise surtout par ses fortes chaleurs. L'effet modérateur de la mer n'intervient que pour assurer un rafraîchissement relatif par rapport aux régions intérieures. La température moyenne estivale s'élève ainsi à 24,9°C (±0,10°C). Au cours de la journée, le thermomètre monte en moyenne à 29,0°C (±0,16°C). Le réchauffement diurne de l'air devient nettement perceptible dès le mois de mai (24,2°C, ±0,17°C) et atteint son maximum en août avec une moyenne maximale de 30,4°C (±0,18°C). La chaleur estivale persiste d'ailleurs jusqu'en septembre (29,4°C, ±0,13°C).

Pendant la nuit, la douceur thermique l'emporte nettement et ce, en dépit des éclaircies nocturnes qui favorisent les pertes radiatives dans l'infra-rouge. En été, la température minimale moyenne dépasse sensiblement 20°C soit 20,9°C (±0,12°C).

Cette saison se caractérise au demeurant par les vagues de chaleur dont l'occurrence reste particulièrement irrégulière. Des advections sahariennes parfois très puissantes se manifestent à la faveur du "Chehili" (Sirocco), vent chaud et très sec responsable des fortes canicules qui rehaussent le mercure à des niveaux dépassant largement 40°C. (Tableau 2).

Tableau 2 : Les records thermiques absolus à Sfax (Période: 1901-1985)

	Juin	Juillet	Août	Septembre
Maximum	43,9°C	47,2°C	46,8°C	43,5°C
Année d'occurrence	1966	1960	1960	1983

A l'échelle de l'ensemble de la région sfaxienne (Figure 6), on relève des variations inter-mensuelles sensibles de températures. On constate que les différences entre le domaine littoral et les espaces intérieurs apparaissent surtout au cours des mois chauds de l'année en raison du rôle rafraîchissant qu'exercent les brises de mer si fréquentes en été et dont l'occurrence maximale intervient au moment du maximum thermique diurne.

L'originalité thermique du littoral de Sfax apparaît également au niveau des températures moyennes nocturnes. La Figure 7 permet de confirmer la douceur thermique de la nuit. Les minima moyens nocturnes sont souvent supérieurs à 10°C, notamment durant l'intervalle avril-novembre. Les contrastes thermiques saisonniers entre le littoral et l'intérieur sont les plus sensibles durant les trois mois de l'automne au moment où la température de l'eau de surface enregistre ses valeurs maximales. Tandis que dans les saisons extrêmes, hiver et été, les différences entre la ville de Sfax et son arrière-pays se réduisent et n'atteignent guère 2°C.

La proximité littorale contribue largement à infléchir les amplitudes thermiques. Les amplitudes thermiques sont généralement assez faibles. Les écarts diurnes moyens n'atteignent jamais 10°C. Ils évoluent souvent autour de 8 à 9°C et varient d'ailleurs peu au cours de l'année.

Il importe par ailleurs de préciser qu'à Sfax, l'amplitude thermique annuelle demeure nettement plus importante que l'amplitude diurne moyenne annuelle. Ceci veut dire que, dans le cadre de la région étudiée, les contrastes thermiques saisonniers (entre l'été et l'hiver) sont plus ressentis que ceux enregistrés entre le jour et la nuit. Ceci signifie aussi que le climat de la région de Sfax est un climat fondamentalement extra-tropical.

2.1.3. Manifestations de l'humidité atmosphérique

Le littoral de Sfax reçoit peu de pluies. La quantité moyenne annuelle se limite à 216,8 mm (1901-90), un module sujet d'ailleurs à de grandes fluctuations.

2.1.3.1. Les régimes pluviométriques moyens

Le régime moyen mensuel de Sfax est un régime complexe (Figure 8). Les pluies apparaissent assez subitement en septembre (24,0 mm en moyenne) et atteignent rapidement leur maximum principal en octobre qui a une moyenne de 42,4 mm. Ce mois concentre à lui seul le 1/5 (19,6 pour cent) du module annuel moyen. Après une chute substantielle des pluies en décembre (21,0 mm en moyenne), on assiste à un découplement des maxima relatifs successivement en janvier (24,2 mm en moyenne) et en mars (23,7 mm en moyenne). Dès le mois d'avril, les pluies diminuent progressivement jusqu'à atteindre, en juillet, leur minimum principal.

A l'échelle saisonnière (Figure 9) on constate que le maximum saisonnier se situe en automne (92,7 mm en moyenne) qui concentre ainsi 42,7 pour cent des pluies annuelles moyennes. En hiver, les pluies diminuent sensiblement, et les quantités enregistrées se limitent à 62,9 mm en moyenne et dépassent de peu celles du printemps qui totalise 52,2 mm en moyenne. Il importe de souligner à ce propos que l'on assiste actuellement à un changement sensible du régime pluviométrique saisonnier moyen. Si vers les années 50, le printemps figure comme la deuxième saison pluvieuse de l'année, on constate actuellement qu'il est relégué en troisième position derrière un hiver désormais plus pluvieux.

2.1.3.2. Jours pluvieux et intensité des pluies à Sfax

Le nombre annuel de jours de pluie est très faible, à peine 41 jours en moyenne dont le tiers se concentre en automne.

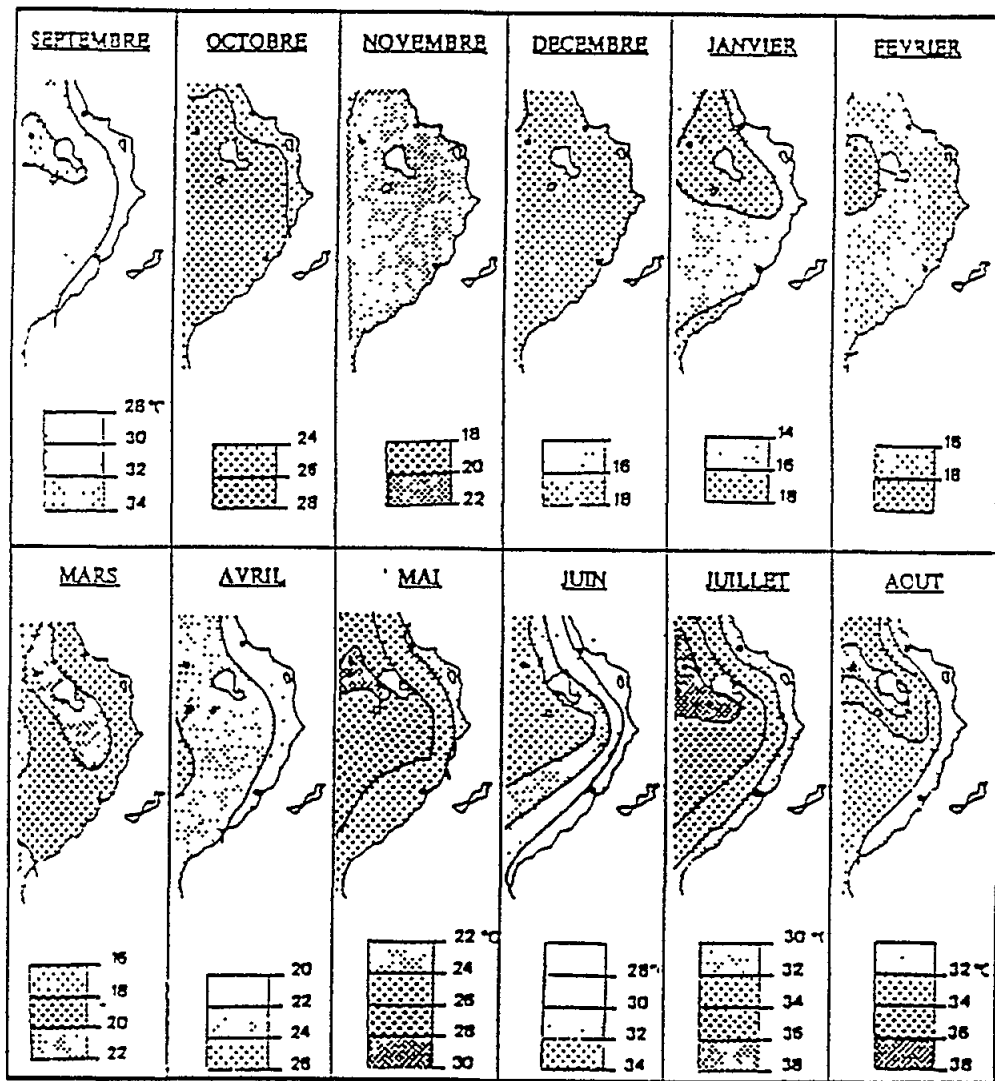


Figure 6 - Variations inter-mensuelles des maxima moyens diurnes

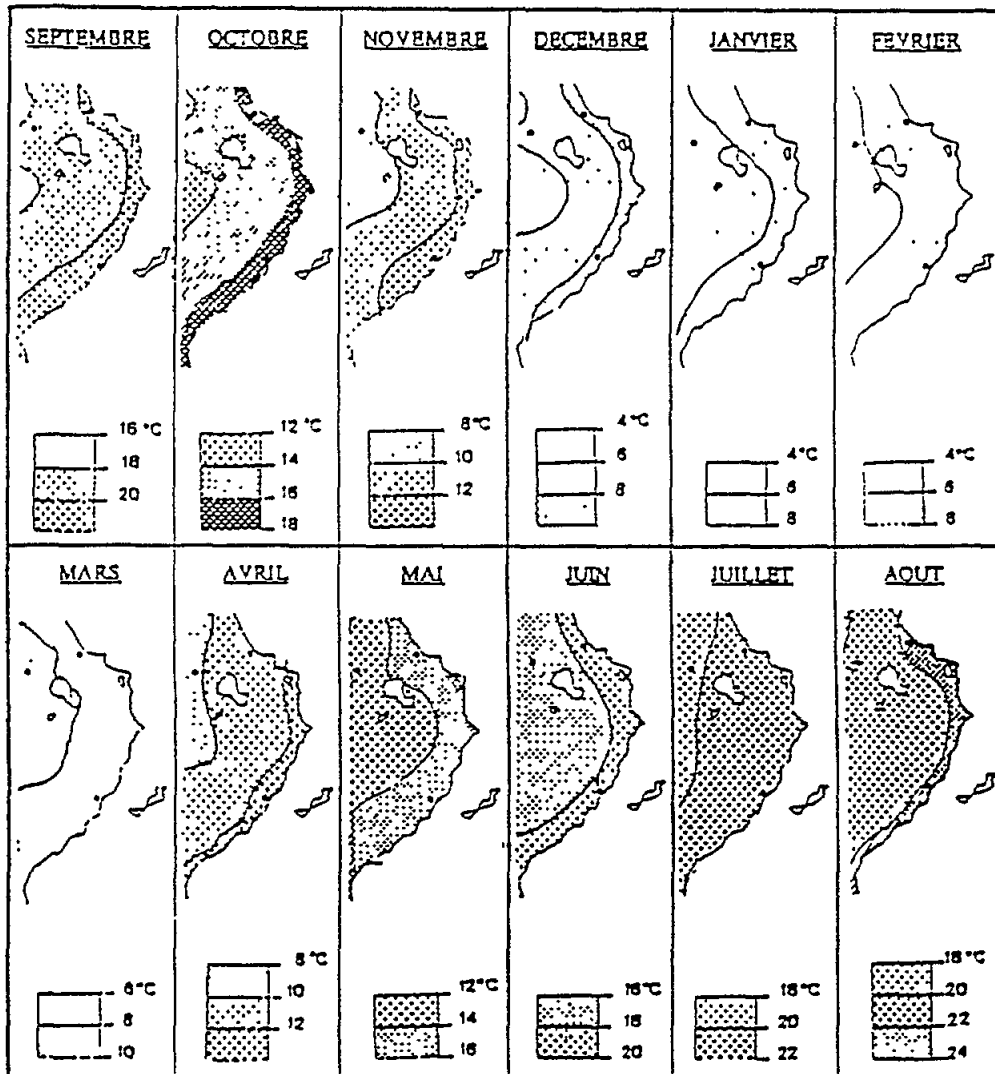


Figure 7 - Variations inter-mensuelles des minima moyens nocturnes

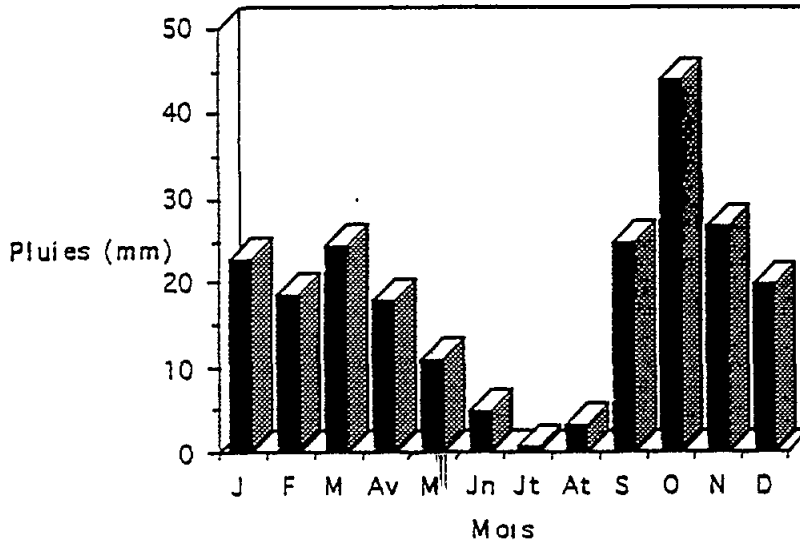


Figure 8 - Régime moyen de pluies à Sfax (1901-90)

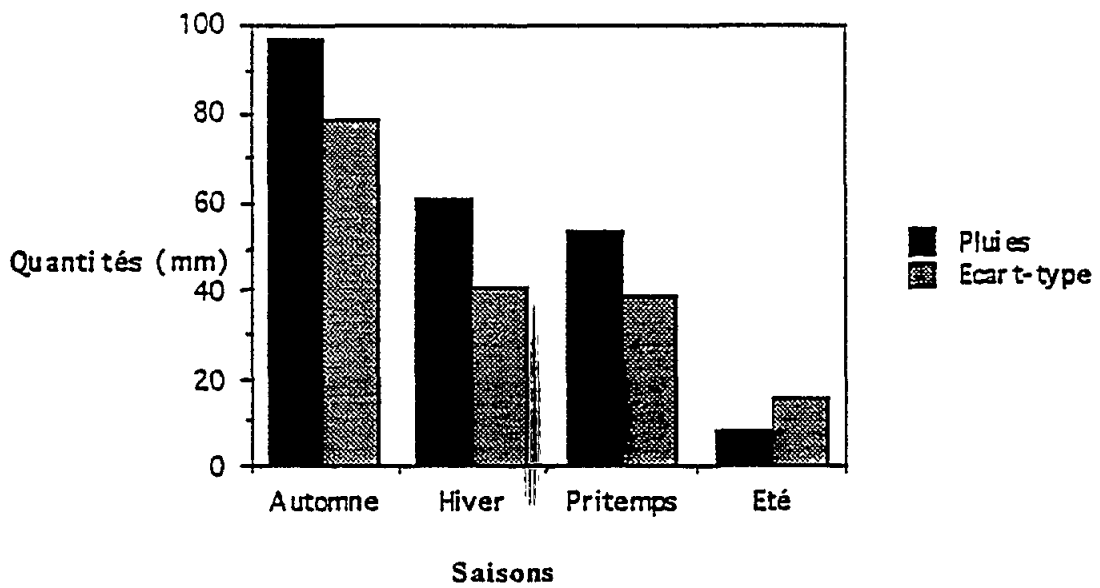


Figure 9 - Les pluies saisonnières à Sfax (1901-90)

D'une manière générale, les pluies se caractérisent par une faible intensité journalière. La figure 10 montre clairement que dans pas moins de 70 pour cent des cas, les jours de pluie donnent des quantités comprises entre 0 et 10 mm. Les pluies fines caractérisent surtout les mois de juin (97,3 pour cent) et juillet (100 pour cent) d'une part et janvier (92,6 pour cent) et février (92,2 pour cent) de l'autre. Inversement, les pluies de l'automne se distinguent par une intensité supérieure notamment en octobre à 7,2 pour cent des jours de pluie engendrent des pluies torrentielles, c'est-à-dire dont le module quotidien atteint ou dépasse même 30 mm. Le caractère torrentiel des pluies est observé à Sfax déjà dès la fin du mois d'août à l'occasion du déclenchement de la saison pluvieuse et l'éclatement des orages qui lui sont associés. Les pluies torrentielles intéressent également le mois de septembre. Des intensités aussi fortes de pluies sont aussi observées au printemps et en particulier en mars et avril (INM, 1983).

2.1.3.3. La variabilité des pluies

La variabilité constitue une caractéristique fondamentale des pluies dans la région sfaxienne. Le coefficient de variation atteint 45 pour cent au niveau des pluies annuelles et augmente au fur et à mesure que l'on considère les quantités saisonnières et/ou mensuelles. D'une manière générale, la variabilité est inversement proportionnelle aux modules moyens. Elle est d'autant plus élevée que les quantités sont faibles (Figure 11).

Le tableau 3 ci-dessous permet de mieux apprécier le caractère irrégulier des pluies à Sfax et ce, pour les trois échelles mensuelle, saisonnière et annuelle.

Tableau 3 : Les anomalies pluviométriques à Sfax (1901-1990)

	Maximum observé	Année d'occurrence	(1)	Minimum observé	Année d'occurrence (2)	(1)
Janvier	191.2	1990	5.8	0	1937-1984	-0.8
Février	123.7	1975	5.3	0	1912-1990	-0.9
Mars	127.1	1917	4.1	0	1905-1946	-0.9
Avril	118.3	1957	4.2	0	1902-1983	-0.7
Mai	55.0	1922	3.3	0	1903-1946	-0.8
Juin	58.5	1976	4.4	0	1901-1985	-0.4
Juillet	17.0	1935	6.0	0	1901-1990	-0.3
Août	90.0	1955	7.7	0	1901-1987	-0.3
Septembre	120.0	1937	3.6	0	1913-1964	-0.9
Octobre	462.6	1969	6.9	0	1910-1970	-0.7
Novembre	148.1	1922	3.9	0	1910-1963	-0.8
Décembre	152.1	1973	5.3	0	1901-1961	-0.9
Automne	587.5	1969	6.4	0.5	1946	-1.2
Hiver	250.8	1990	4.3	4.2	1902	-1.3
Printemps	169.6	1957	3.1	2.7	1970	-1.3
Été	92.4	1955	5.4	0.0	1901-1985	-0.6
Année	605.4	1969-70	3.9	37.0	1946-47	-1.8

(1) : Importance relative de ce maximum enregistré: Valeurs standardisées.

(2) : Au cas où le minimum caractérise plusieurs années, seules la première et la dernière sont indiquées.

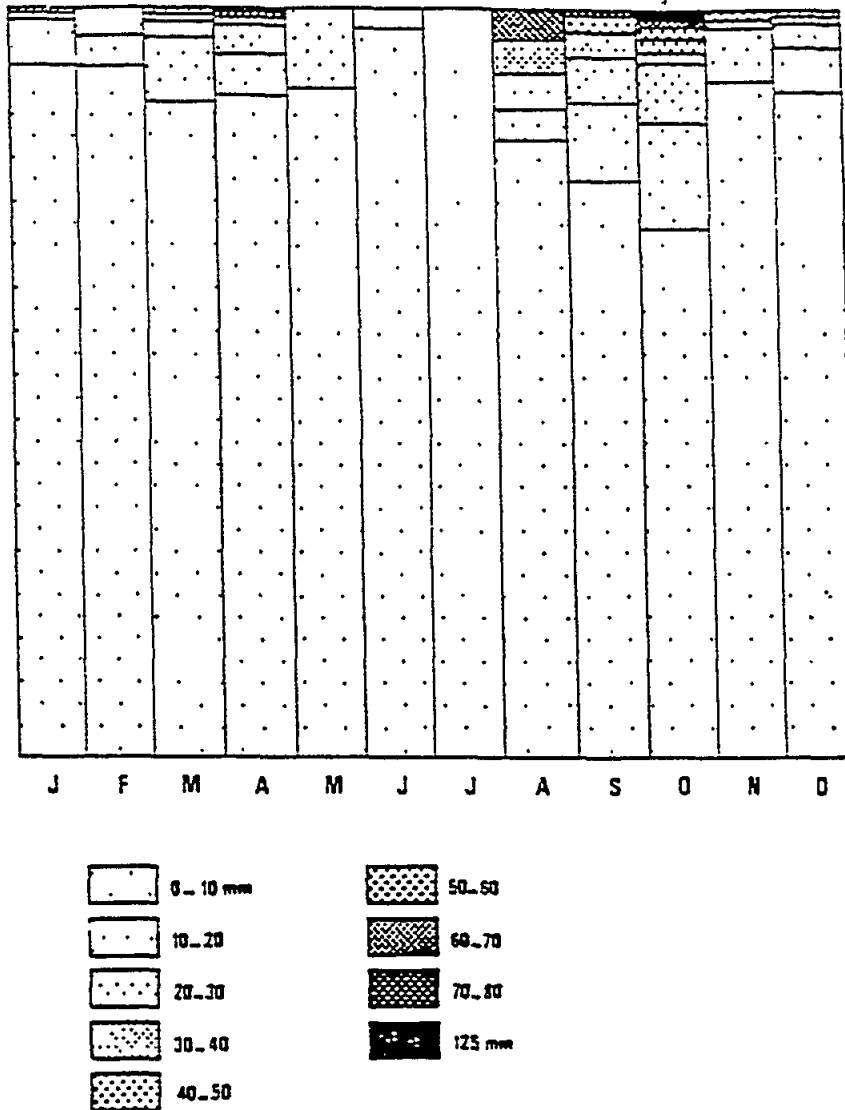


Figure 10 - Fréquence des pluies à Sfax (1951-70),
% des jours où la pluie est comprise entre 9 et 10 mm, 10-20 mm, etc.
(source, I.N.M.)

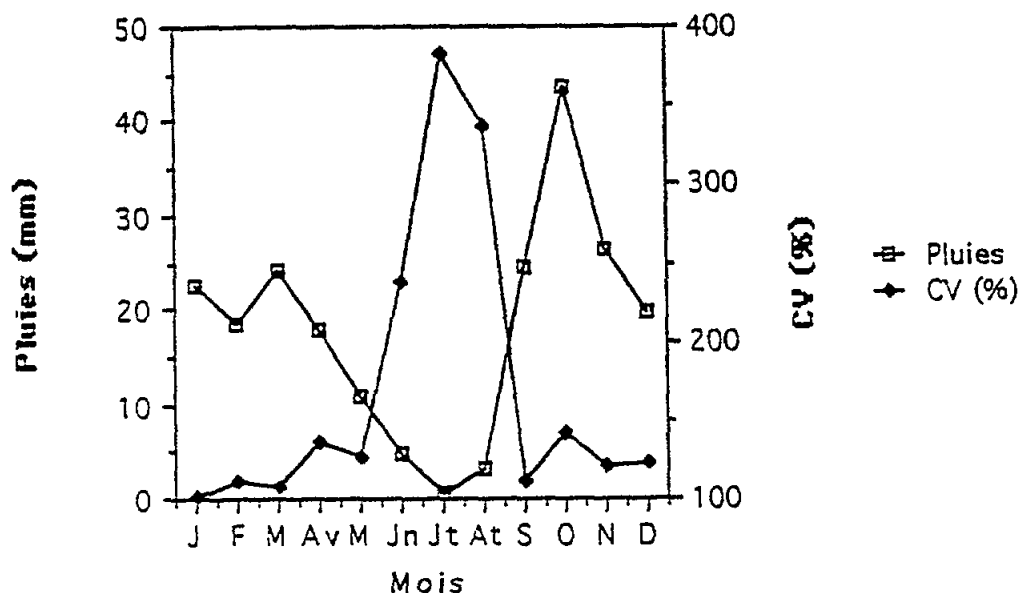


Figure 11 - Variabilité des pluies mensuelles à Sfax

2.1.3.4. Mécanisme des pluies

Le caractère pluviométrique de la région sfaxienne est en fait en étroite rapport avec l'origine des pluies. Les processus de la pluviogenèse sont intimement liés au dynamisme des situations synoptiques du front polaire. Au cours de l'année, le littoral de Sfax est intéressé, globalement, par deux catégories de types de temps: Les types de temps pluvieux et les types de temps secs ou très peu pluvieux.

Tableau 4 : Origine des pluies annuelles à Sfax

Types de temps	Contribution (%) aux pluies annuelles
Nord-Est (Flux Direct)	51
Nord-Est associé à une "Goutte Froide" en altitude.	21
Ouest	3
Nord-Ouest	1
Sud-Ouest	6
Perturbation saharienne	18
Total	100 %

Le tableau 4 montre que les pluies à Sfax sont engendrées essentiellement par trois types de temps qui concentrent à eux seuls 90 pour cent du module annuel. Ce sont essentiellement les types de temps de NE, flux direct ou associé à une "goutte froide" en altitude, et les perturbations sahariennes. Ces types de temps sont néanmoins peu fréquents, ils sont observés dans 28 pour cent des cas. Leur importance relative diffère sensiblement d'une saison à une autre (Tableau 5).

Tableau 5: Contribution (pour cent) des types de temps aux pluies saisonnières à Sfax

Type de Temps	Automne	Hiver	Printemps	Eté
Nord-Est	63	69	29	79
"Goutte Froide"	29	11	33	1
Ouest	1	3	2	19
Nord-Ouest	—	2	2	1
Sud-Ouest	5	8	8	—
Perturbation Saharienne	2	7	26	—
Total				100 %

Les types de temps pluvieux

Le type de temps de Nord-Est (Flux direct) est à l'origine de la plus grande proportion des pluies qui arrosent la région sfaxienne et ce, pour toutes les saisons, notamment en automne et en hiver (Tableau 6).

Tableau 6: Apport pluviométrique du type de temps de NE à Sfax

Mois	Apport pluviométrique du type de temps de Nord-Est
Septembre	79 %
Octobre	88 %
Décembre	60 %
Janvier	90 %
Fevrier	46 %
Mars	57 %
Mai	15 %
Juin	87 %

Le type de temps de Nord Est engendre l'essentiel des pluies torrentielles et orageuses. Les masses d'air polaire deviennent instables par la base suite à leur passage au-dessus de la Méditerranée orientale et en particulier au-dessus des eaux chaudes du Golfe de Gabès et de la dépression thermique qui lui est associée (Tableau 6).

Toutefois, le type de temps de Nord Est (Flux direct) ne détermine pas à lui seul tous les caractères pluviométriques du littoral de Sfax. Certains dispositifs synoptiques lui associent une "goutte froide " en altitude (Surface 500 hectopascals). Les "gouttes froides" les plus actives sont observées en automne et au printemps, c'est-à-dire au cours des saisons intermédiaires où la circulation zonale manifeste des signes d'affaiblissement.

Quant aux perturbations sahariennes, leurs contributions aux pluies saisonnières restent typique du printemps qui lui doit plus du quart de ses quantités. Elles provoquent sur le littoral de Sfax des pluies généralement fines, dont l'intensité journalière ne dépasse pas 15 mm.

Les types de temps secs ou très peu pluvieux

Les types de temps les plus fréquents à Sfax, (72 pour cent des cas, sont ceux de Nord Ouest, Ouest, Sud Ouest, le marais barométrique (zone de basse pression barométrique) et le type de temps anticyclonique. Ce sont des types de temps très peu pluvieux. Ils ne contribuent que pour 10 pour cent environ des pluies annuelles. Comme exemple, on peut citer le cas du type de temps de Nord-Ouest dont l'apport pluviométrique est souvent très minime. Il importe de relever, par ailleurs, la faiblesse remarquable de ce type de temps qui génère l'essentiel des pluies dans le Nord de la Tunisie, mais dont la contribution se trouve considérablement réduite, à Sfax par effet de foehn. Généralement, le type de temps de Nord Ouest engendre des pluies de très faible intensité journalière. Cette intensité ne dépasse pas 5 mm à Gabès et se limite à 0,7 mm à Sfax.

2.1.4. Phénomènes hydrométéorologiques à Sfax

Les brouillards sont relativement assez fréquents. On compte près de 10 jours en moyenne par an (1951-72). Pour la période 1946-60, on constate que l'effectif moyen des jours de brouillards est sensiblement inférieur, soit 6.9 jours seulement (I.N.M.).

Bien qu'elle soit peu fréquente, la grêle est fortement redoutée dans la région de Sfax, comme partout ailleurs en Tunisie. Le nombre moyen de jours de grêle est de 0,68 j. La grêle se manifeste essentiellement en automne et au printemps qui concentrent 46,7 pour cent respectivement du nombre moyen annuel. Dans le cas où leur diamètre est mesuré, les grêlons ont un diamètre souvent inférieur à 20 mm. Le record a été observé lors d'un violent orage survenu le 13 mai 1957 où l'on a mesuré des grêlons de 105 mm de diamètre. La durée maximale d'une chute de grêle a été de 69 minutes le 9 mai 1951. Les orages de grêle caractérisent particulièrement la deuxième moitié du jour, celle la plus chaude d'ailleurs: près de 69 pour cent des chutes de grêle sont observées entre 12h00 et 18h00 (Saidi, 1976). Le nombre moyen annuel de jours d'orages s'élève à 22,22 j. Les orages les plus fréquents sont enregistrés en automne et plus particulièrement en octobre.

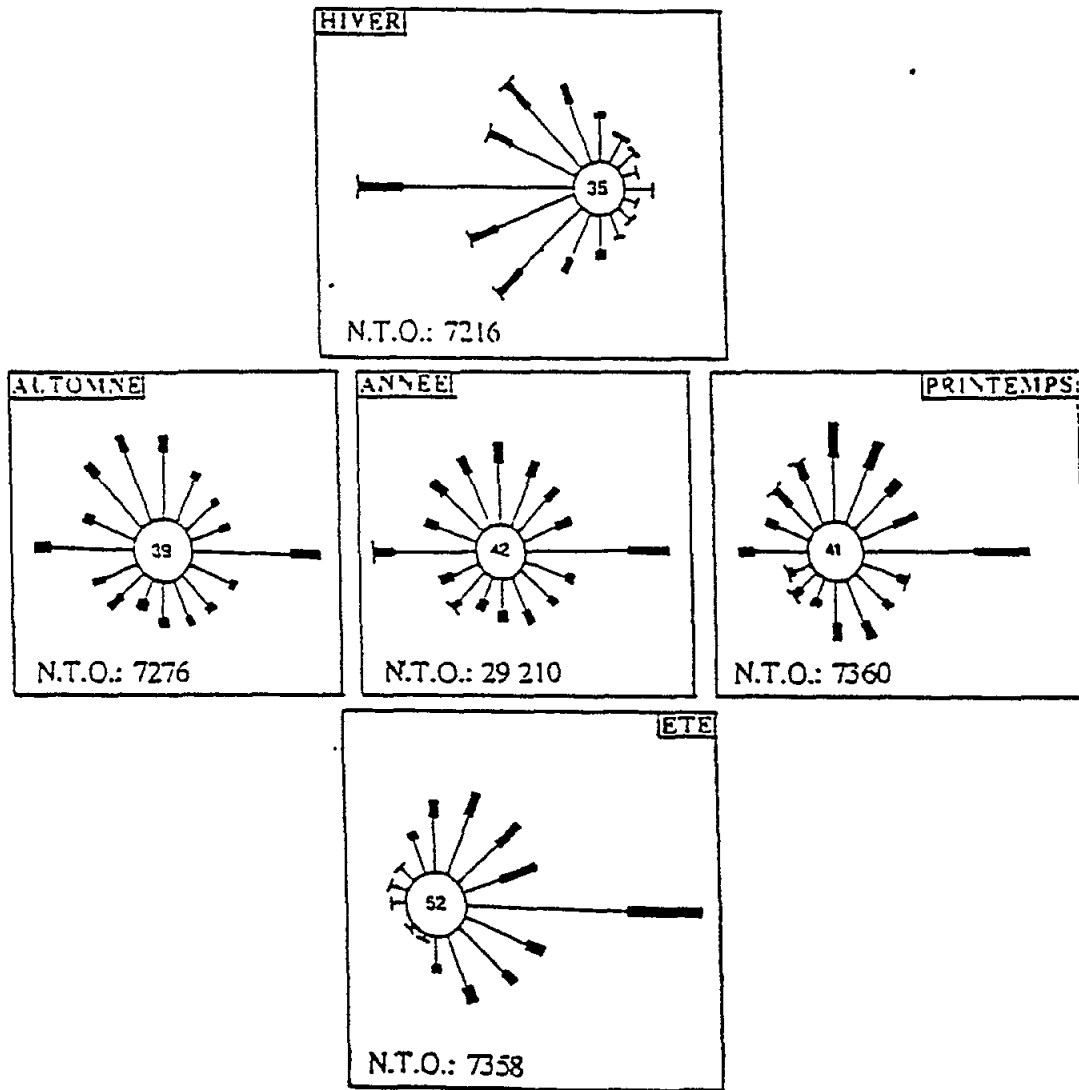
2.1.5. Les vents de surface à Sfax

Du fait de sa position de contact entre terre et mer, Sfax est une région assez venteuse comme en témoigne la faiblesse des calmes dont la fréquence moyenne évolue entre 4 et 5 pour cent des observations.

A l'échelle annuelle, et pour la période 1970-79, on constate que le vent souffle pratiquement de toutes les directions et ce, dans des proportions quasi uniformes tant pour les fréquences que pour les vitesses. Les vents de secteur Nord, Nord Ouest et Nord Est sont néanmoins sensiblement plus fréquents et aussi plus forts que leurs homologues de secteur Sud Ouest, Sud et Sud Est (Figure 12).

Les vents prédominants demeurent incontestablement ceux de secteur Est et Ouest. En dépit de cette prédominance, les vents d'Est et d'Ouest restent faibles, de vitesse souvent inférieure à 4 m.s⁻¹. Ces fréquences moyennes annuelles dissimulent toutefois beaucoup de nuances saisonnières. Si, en automne, les vents observés maintiennent pratiquement les mêmes caractéristiques que celles enregistrées à l'échelle annuelle, il n'en demeure pas moins que pour les trois autres saisons, on relève des particularités assez significatives. Ainsi en hiver, les vents d'Ouest, de Nord Ouest et de Sud Ouest accusent une large prédominance sur les autres directions, notamment au détriment des vents de secteur Est. L'hiver se distingue par ailleurs à Sfax par sa grande turbulence; la fréquence des calmes y atteint son niveau le plus faible (3,5 pour cent).

Au printemps, on assiste à un changement notable dans la fréquence des vents. Les vents d'Ouest, de Nord Ouest, et de Sud Ouest perdent subitement leur importance au profit des vents d'Est, de Nord et de Nord Est.



VENT AU SOL:

Fréquences moyennes pour mille des directions par groupes de vitesses en m/s

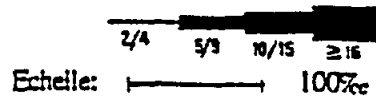


Figure 12 - Roses des vents à Sfax (1970-79)

H.O.: 00. 03. 06. 09. 12. 15. 18. 21.

N.T.O.: Nombre Total d'Observations

41: Fréquence de vent calme: 41‰

(Source: I.N.M. Tunis)

Ce renforcement de la composante Est des vents se confirme pleinement en été où l'on enregistre une nette prédominance des vents d'Est, de Nord Est et de Sud Est. Ce qui traduit en particulier l'importance des brises de mer dans une saison estivale fortement marquée par les calmes anticycloniques.

En somme, Sfax connaît un temps souvent venteux. Les vents prédominants soufflent surtout du secteur Est, mais leur vitesse ne dépasse guère 9 m.s⁻¹.

2.1.6. Evaporation Piche

En plus de la rareté des précipitations, l'évaporation élevée sur la région de Sfax, accentuée d'avantage la sécheresse. Elle fonctionne tout le long de l'année même en hiver où elle atteint sa valeur minimale 512 mm. Le maximum d'évaporation est enregistrée en été avec 1720 mm (Tableau 7).

Tableau 7 : Evaporation Piche à Sfax en mm (station El Maou, 1986-93)

Saison	Automne	Hiver	Printemps	Été
Evap. Piche	972 mm	512 mm	1026 mm	1720 mm

2.1.7. Tendances climatiques séculaires sur le littoral de Sfax

2.1.7.1. Introduction : contrôle de la qualité des données

L'étude des changements de climat est relativement récente en Tunisie. Quelques travaux de recherche ont été menés sur les pluies (Bousnina, 1977, 1986; Melice et Wendler, 1984; Jeguirim, 1992), ainsi que sur les températures (Bousnina, 1988, 1992). Ces diverses investigations ont abouti à de nombreux résultats qui concernent aussi bien des régions limitées que l'ensemble du territoire tunisien.

Certaines études ont particulièrement mis l'accent sur la qualité des données climatiques utilisées dans la recherche des tendances. A ce propos, il est nécessaire de souligner que les données météorologiques tunisiennes telles qu'elles sont fournies par l'Institut National de la Météorologie de Tunis, sont loin d'avoir subi un contrôle rigoureux de qualité et n'assurent pas, en conséquence, une fiabilité satisfaisante quant à l'étude des tendances climatiques séculaires.

A noter qu'à l'amont de toute recherche efficace (convenable) sur les changements de climat en Tunisie, il est impératif d'effectuer un contrôle de la qualité des données. Inutile de rappeler que les résultats en dépendent fortement. L'application de plusieurs procédures (statistiques et graphiques) de contrôle de la qualité a permis de déceler un nombre d'erreurs important et d'origines diverses.

C'est pour cette raison que sur l'ensemble des données (T° et P) utilisées un contrôle rigoureux a été appliqué. Celui-ci a permis d'identifier les erreurs (nombres et catégories) (Figure 13).

Les erreurs les plus fréquentes (80,4 pour cent des cas) peuvent être attribuées à une défaillance "humaine". Très souvent, on a remarqué que les chroniques thermiques mensuelles ne représentent pas toujours la même station de Sfax. Lors des opérations de saisie, des données provenant d'autres stations ont été enregistrées à la place de celles de Sfax et ce, pour plus de quinze années consécutives (Erreurs de type "G").

Par ailleurs, l'examen des documents météorologiques originaux ont permis de rejeter 210 valeurs thermiques "officielles" dans la mesure où les températures moyennes mensuelles ont été établies à partir d'un nombre insuffisant d'observations quotidiennes (Erreurs de type "A").

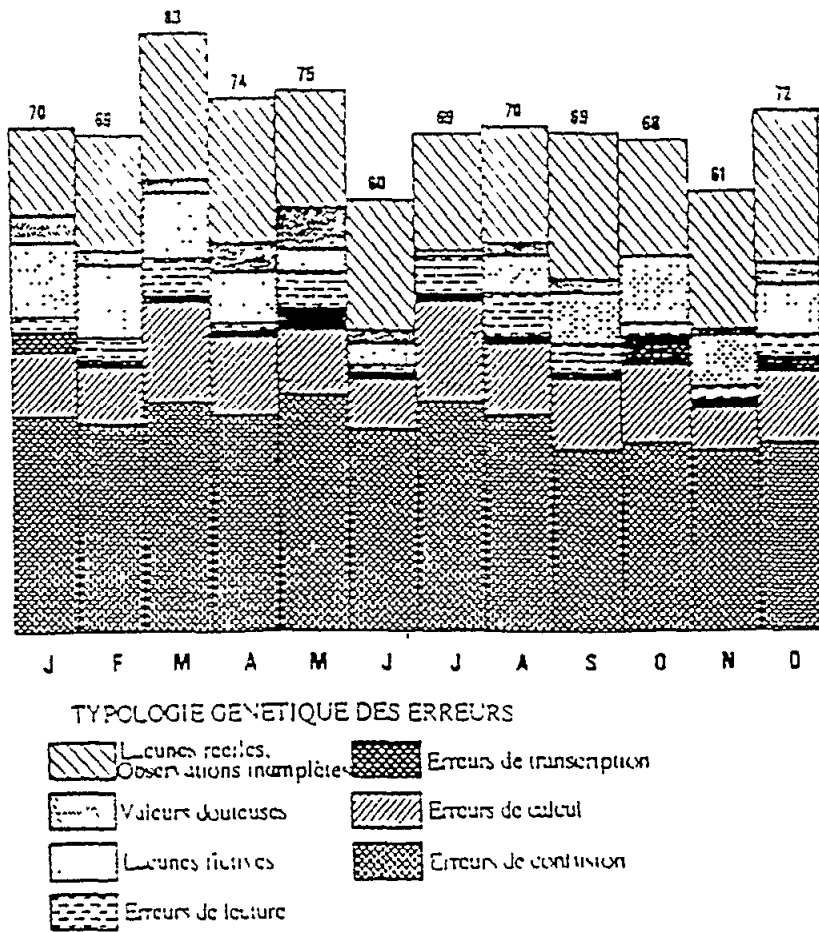


Figure 13 - Les données thermiques de Sfax:
Typologie génétique des erreurs par mois

(N.B.: - Le chiffre inscrit au sommet de chaque colonne représente l'effectif total des erreurs.
- Chaque colonne représente 100%)

Les données de températures comportent en outre plusieurs erreurs de calcul (Erreurs de type "F"). Les opérations de rectification permettent de constater que les écarts enregistrés entre les valeurs erronées et les valeurs correctes correspondantes se situent souvent entre 3 et 5°C (Voir annexe III).

Ainsi, l'identification des divers types d'erreurs a été une étape très importante en vue d'assurer une qualité meilleure des données utilisées. Des corrections élémentaires mais essentielles ont été effectuées et peuvent être résumées comme suit:

- Rectification des erreurs de saisie
- Correction des erreurs de calcul et de transcription.
- Rétablissement des données à leur place correspondante aussi bien dans l'espace (au niveau des stations) que dans le temps (mois et/ou années)

Les erreurs étant éliminées, une amélioration substantielle de la qualité des données a été observée.

En outre, l'homogénéité des données climatiques est un aspect important qui détermine l'étude de la variabilité des températures. Il l'est d'ailleurs pour les autres éléments du climat. Compte tenu de l'échelle de temps adoptée et qui couvre la période de 1901-1985, il n'a pas été possible d'assurer des chroniques parfaitement homogènes pour la région étudiée. A ce niveau, l'historique de la station, élaboré à la lumière des documents originaux disponibles, a permis de saisir les causes premières de l'hétérogénéité. Celles-ci résultent essentiellement du changement de site de la station. On a souvent remarqué que le transfert à un deuxième site différent, s'opère après une longue lacune dans le temps. De ce fait, beaucoup de chroniques mensuelles se trouvent scindées en deux principales séries qui présentent néanmoins des caractéristiques statistiques sensiblement différentes. L'hétérogénéité des séries a pu être mise en évidence grâce à la comparaison des paramètres relatifs aux deux sous-périodes constituant la chronique. Des écarts importants ont été parfois enregistrés.

La signification statistique de ces différences a été vérifiée grâce au test de Student. En somme, la station de Sfax a connu deux sites différents: un site tout d'abord "urbain" qui a fonctionné de 1900 à 1947, puis un deuxième site "rural" situé à la périphérie sud-ouest de la ville, sur l'aérodrome.

Les différences thermiques observées entre les deux sites figurent en annexe III. Elles concernent essentiellement les températures minimales moyennes qui sont plus importantes en ville qu'ailleurs. Compte tenu de ces différences, et en vue d'assurer une série thermique complète et homogène, nous avons procédé à une homogénéisation des chroniques mensuelles des maxima et des minima moyens quotidiens.

2.1.7.2. Changements climatiques récents à Sfax

Au niveau de l'insolation

La détermination des indices d'insolation pour deux périodes différentes, l'une correspondant à 1951-73, l'autre à 1971-80 permet de saisir des variations notables (Figure 14).

On remarque en effet que l'indice d'insolation tend à la diminution en janvier et février, mai et novembre et, dans une moindre mesure, en avril. Une tendance à l'augmentation caractérise les autres mois de l'année avec une progression importante en juin, septembre, octobre et décembre.

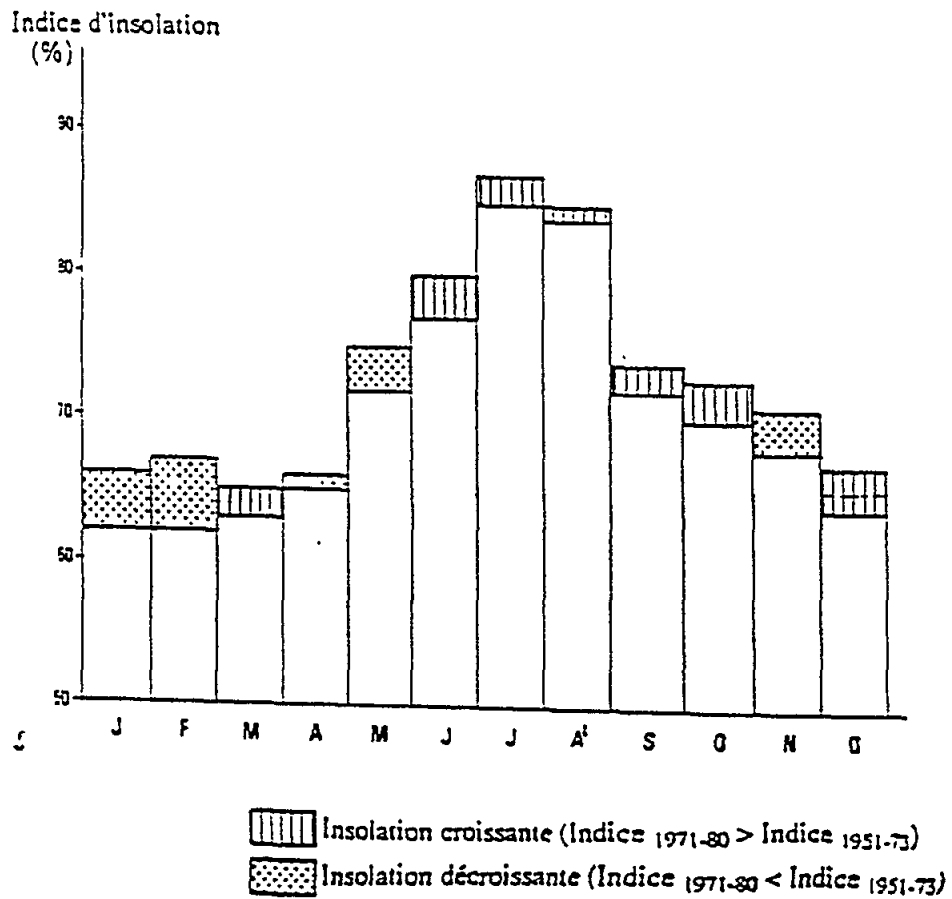


Figure 14 - Variation de l'insolation à Sfax

Au niveau des températures

L'analyse des tendances thermiques survenues au cours du XX^{ème} siècle a été menée à deux niveaux différents, spatial et stationnel

Au niveau spatial, il y a lieu de préciser que les tendances séculaires des températures ont été considérées séparément pour les maxima moyens diurnes d'une part et les minima moyens nocturnes de l'autre.

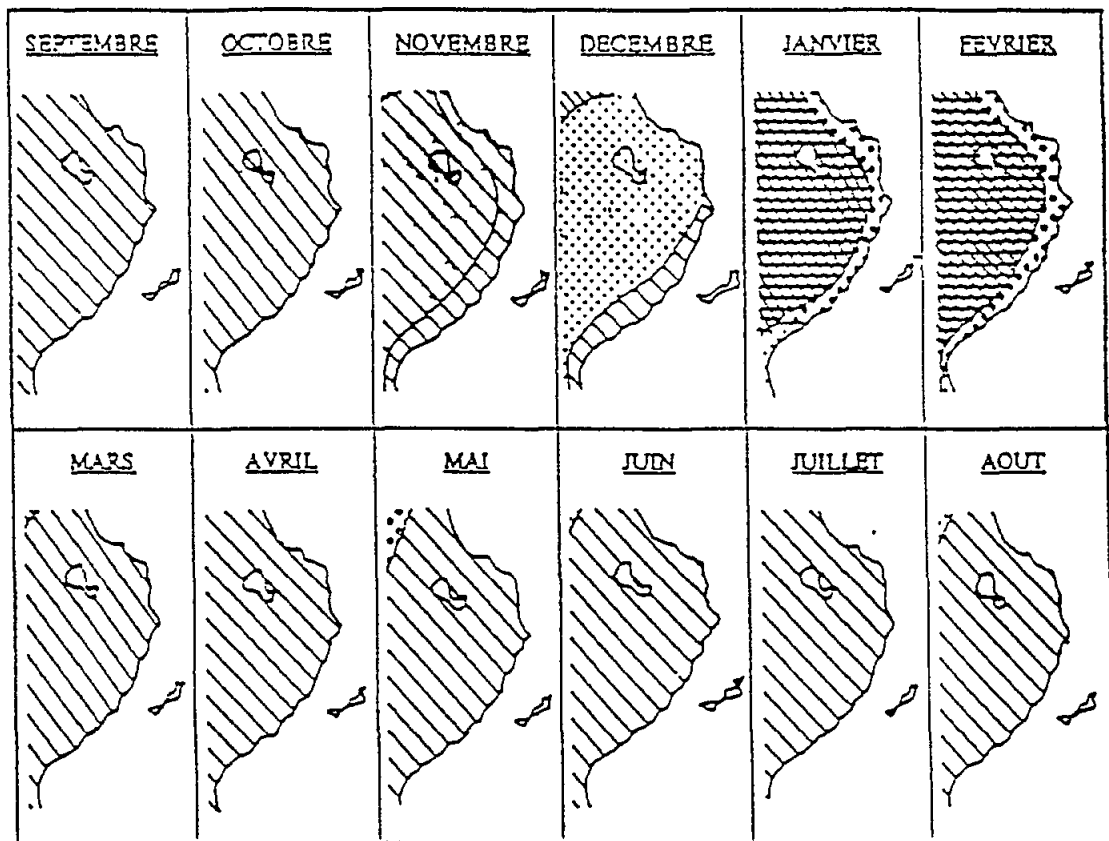
Pour les températures moyennes du jour, l'examen de la figure 15 permet de retenir les remarques suivantes:

- Considérant la période 1901-85 on constate que la région de Sfax connaît des maxima moyens diurnes de moins en moins élevés. Il fait moins chaud pendant le jour aujourd'hui qu'au début du siècle. Le rafraîchissement sensible des températures maximales quotidiennes caractérise tous les mois chauds de l'année, notamment de mars à novembre compris.
- La tendance des températures maximales diurnes à la diminution est, statistiquement, très significative.
- En hiver, les tendances séculaires des maxima moyens sont plus nuancées. Globalement, la région de Sfax enregistre un adoucissement remarquable des températures du jour aussi bien en janvier qu'en février. La diminution progressive des maxima moyens diurnes est néanmoins plus sensible (et aussi plus significative) au niveau des plaines intérieures que le long de la zone côtière où la tendance générale devient peu significative. En décembre, les températures maximales évoluent dans l'ensemble vers la baisse en particulier le long du littoral de Sfax.



Concernant les températures moyennes de la nuit, l'application de la même procédure analytique a permis d'obtenir les résultats suivants (Figure 16):

- Globalement, les températures minimales nocturnes accusent une tendance générale à la hausse en particulier en janvier et en février où l'adoucissement thermique nocturne est hautement significatif.
- Les tendances séculaires se caractérisent par une faible cohérence spatiale dans la mesure où au fil des mois, la région de Sfax enregistre des tendances diverses aussi bien au niveau de la signification statistique qu'au niveau de son ampleur régionale.
- Dans cet ordre d'idées, il importe de relever des tendances générales spécifiques à la zone côtière d'une part, et aux plaines de l'intérieur de l'autre. L'espace côtier connaît ainsi des températures minimales nocturnes de plus en plus froides en automne (surtout en octobre-novembre) ainsi qu'en mars, mai, juin et notamment en juillet où le refroidissement nocturne est très significatif. A l'opposé, les plaines intérieures enregistrent une hausse souvent significative des minima moyens nocturnes sauf en septembre et novembre au cours desquels le refroidissement nocturne demeure plus sensible.

Les figures 17 et 18 montrent quelques exemples de tendances séculaires des maxima et des minima moyens quotidiens et relatives à la "région" du Golfe de Gabès. Les valeurs thermiques de cette "région" représentent la moyenne des températures maximales et/ou minimales obtenues à partir de 4 stations baignées par le Golfe de Gabès à savoir Sfax, Gabès, Jerba et Zarzis.



AUGMENTATION ($\bar{a} > 0$)

-  Tendence positive significative
-  Tendence positive non significative

DIMINUTION ($\bar{a} < 0$)



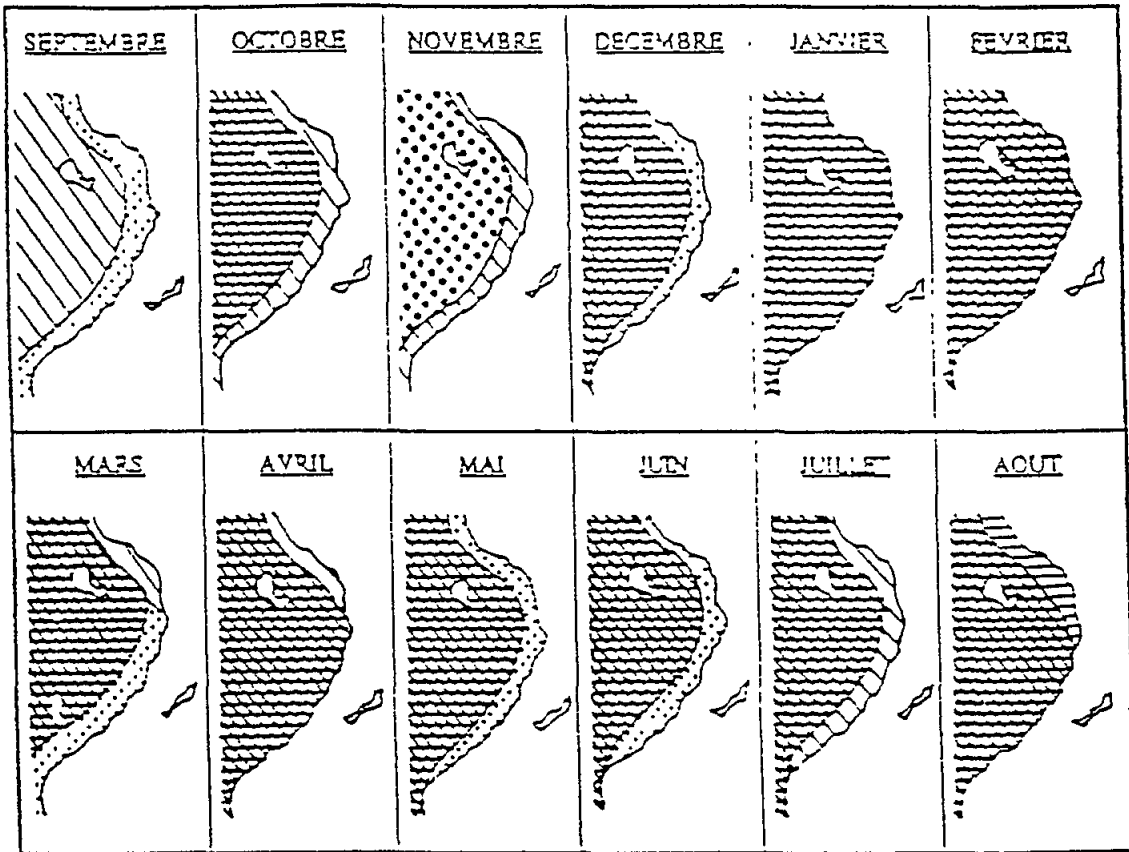
-  Tendence negative significative
-  Tendence negative non significative

Figure 15 - Tendances séculaires des maxima moyens diurnes



AUGMENTATION ($\bar{\Delta} > 0$)

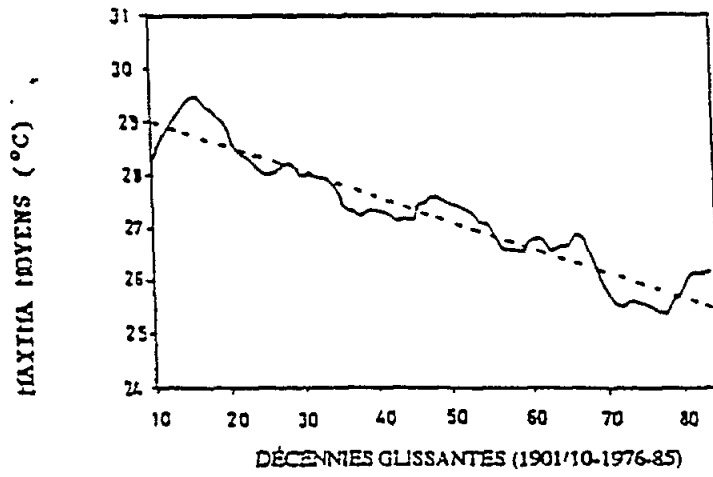
- Tendance positive significative
- Tendance positive non significative
- Tendance generale indeterminee (variation quasi stationnaire)

DIMINUTION ($\bar{\Delta} < 0$)

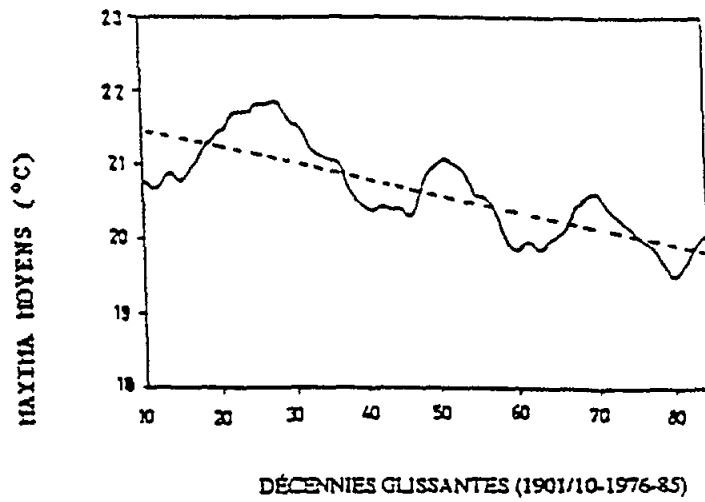
- Tendance negative significative
- Tendance negative non significative

Figure 16 - Tendances seculaires des minima moyens nocturnes

RÉGION: GOLFE DE GABES MOIS: OCTOBRE

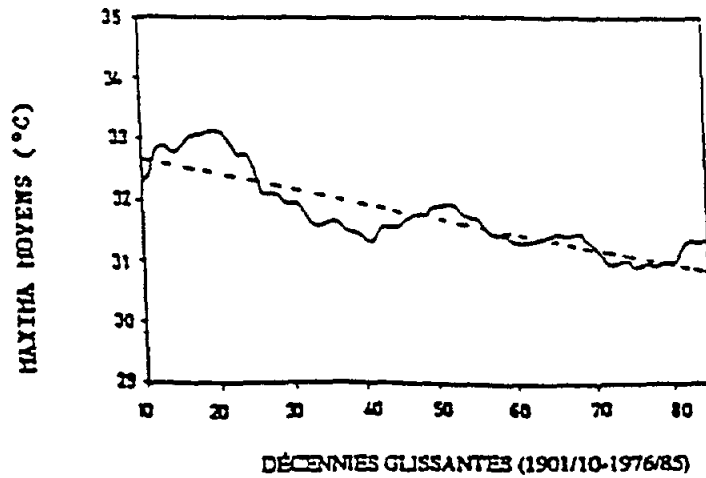


RÉGION: LITTORAL MOIS: AVRIL



DÉCENNIES GLISSANTES (1901/10-1976-85)

RÉGION: GOLFE DE GABES MOIS: JUILLET



DÉCENNIES GLISSANTES (1901/10-1976/85)

Figure 17 - Tendances des maxima moyens diurnes

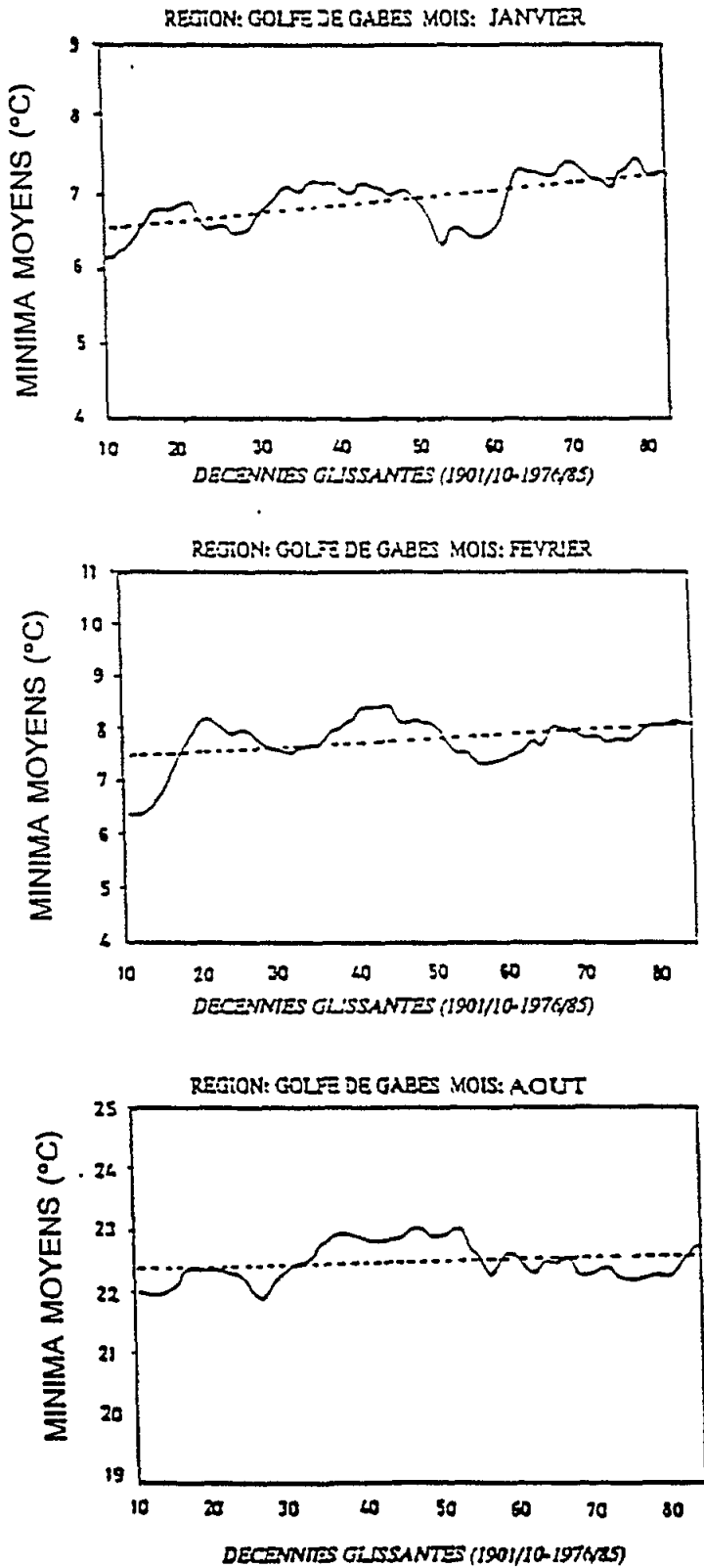


Figure 18 - Tendances des minima moyens nocturnes

Au niveau de la station synoptique de Sfax, l'analyse des tendances séculaires des températures moyennes mensuelles a été menée à différentes échelles de temps: l'année, les mois et les saisons (Tableau 8).

Tableau 8 : Tendances des températures moyennes mensuelles à Sfax (1900-85)

	\hat{a}	$\hat{a} / \sigma_{\hat{a}}$	Risque d'erreur (pour cent)
Janvier	+0,013	2,665	0,92
Février	+0,012	2,058	4,27
Mars	+0,014	2,606	1,08
Avril	+0,010	2,523	1,35
Mai	+0,001	0,368	N S
Juin	-0,008	-1,680	9,84
Juillet	-0,002	-0,375	N S
Août	+0,001	0,192	N S
Septembre	+0,005	1,440	N S
Octobre	-0,022	4,525	0,01
Novembre	-0,022	4,312	0,01
Décembre	-0,013	2,790	0,55
Automne	-0,017	5,121	0,01
Hiver	+0,013	3,896	0,02
Printemps	+0,009	2,621	1,04
Été	-0,003	-0,769	N.S
Année	+0,009	3,762	0,03

N.S indique une tendance générale statistiquement non significative

Les résultats du traitement statistique sont représentés dans le tableau 9

Tableau 9 : Coefficients de correction affectés aux températures moyennes quotidiennes de Sfax-el-Maou (1948-1985)

Mois	Maxima moyens diurnes	Minima moyens nocturnes
Septembre	-0,24	+1,11
Octobre	0,71	+1,69
Novembre	0,20	+1,77
Décembre	-0,02	+1,06
Janvier	-0,41	+1,10
Février	-0,55	+1,09
Mars	-0,27	+1,36
Avril	-0,04	+1,14
Mai	-0,73	+0,79
Juin	-1,36	+0,75
Juillet	-1,49	+1,20
Août	-1,24	+0,97

N.B. Les valeurs en gras représentent les écarts statistiquement significatifs au seuil de 5 pour cent.

Ce tableau permet de retenir les conclusions suivantes:

- A Sfax, les températures moyennes annuelles ne cessent d'augmenter tout au long du XX^e siècle, à raison de + 0,009°C.a⁻¹. Le réchauffement moyen paraît certes assez faible, mais il est hautement significatif (Risque d'erreur très inférieur à 1 pour cent).
- Le réchauffement annuel résulte d'une augmentation encore plus sensible des températures moyennes saisonnières (et aussi mensuelles) et dont les tendances générales sont souvent très significatives.
- Ainsi, l'élévation des températures moyennes concerne, par ordre d'importance, l'automne, l'hiver et le printemps, au cours desquels, le réchauffement est très significatif. Inversement, en été, les températures moyennes accusent une tendance générale à la baisse. Ce rafraîchissement estival demeure néanmoins non significatif. Ceci veut dire que l'augmentation des températures moyennes correspond précisément aux saisons où il pleut normalement à Sfax. Il est par ailleurs intéressant de constater que le réchauffement thermique détecté diminue en intensité au fur et à mesure que les pluies saisonnières diminuent.
- Les tendances générales des températures moyennes saisonnières cumulent en fait plusieurs nuances à l'échelle mensuelle. Globalement, les tendances séculaires des températures moyennes mensuelles sont cohérentes (consistantes), c'est-à-dire proportionnelles avec les tendances générales des températures moyennes saisonnières (Figure 19).

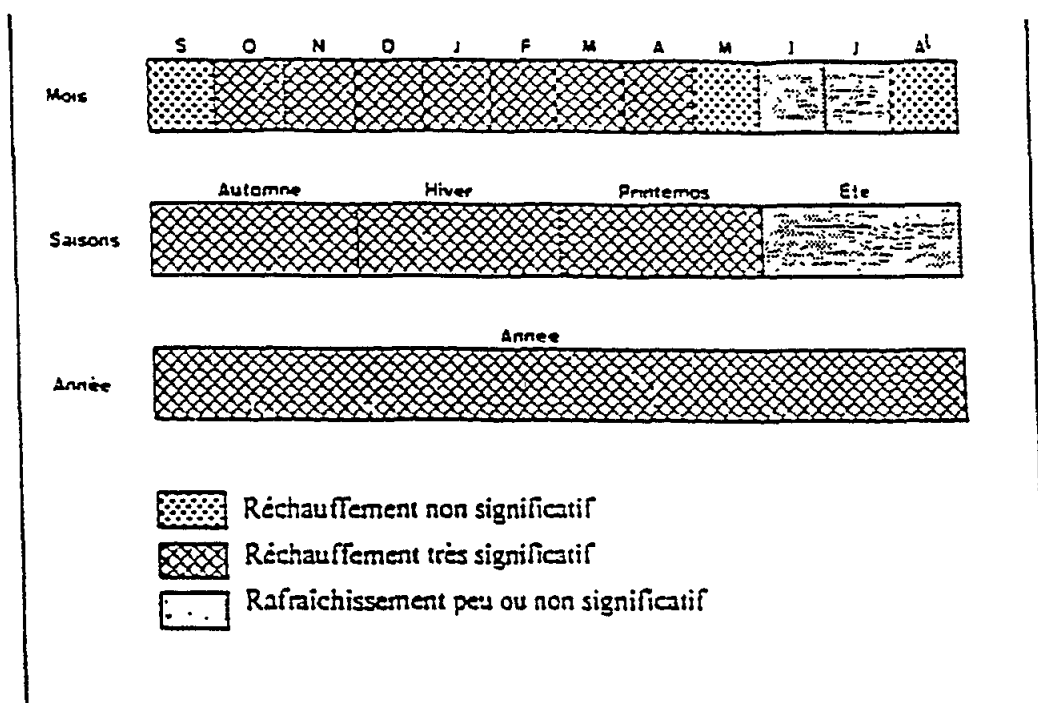


Figure 19 - Tendances générales de températures moyennes à Sfax (1900-35):
Un bilan

Ainsi, le reconauffement thermique caractérise les mois frais de l'année, notamment durant tout l'intervalle octobre-avril sans aucune interruption. Ceci permet donc de dire que le climat thermique de Sfax tend vers un radoucissement remarquable de l'hiver. Des signes de rafraîchissement des températures estivales, notamment en juin et juillet, commencent à être perceptibles, mais leur signification statistique demeure très faible.

Cette tendance générale à l'adoucissement thermique se trouve d'ailleurs pleinement confirmée à travers les variations de la continentalité. Ainsi, en considérant l'amplitude thermique annuelle il a été possible de déterminer le coefficient de continentalité de Gorczynski et de retracer ses variations séculaires. L'examen de la figure 20 permet de remarquer en premier lieu une nette décroissance de la continentalité durant tout le XX^e siècle. Cette tendance générale à la diminution s'effectue selon un même rythme légèrement plus rapide que celui qui caractérise Sousse plus au nord (Figure 21). Le coefficient de régression atteint -0,041 et dépasse le seuil de signification de 5 pour cent. La diminution de la continentalité semble s'effectuer en deux phases distinctes et séparées l'une de l'autre par une troisième séquence à tendance inverse.

De ce fait, à Sfax, les variations chronologiques de la continentalité peuvent être résumées comme suit :

- Dès le début du siècle, le coefficient de continentalité manifeste une nette tendance à la baisse. Durant les premières décennies mobiles, la continentalité dépasse de ceu 27 pour cent (1901-10 : 27,4 pour cent, 1905-14 : 27,3 pour cent) avant de connaître une chute de plus en plus importante notamment à partir de la décennie 1927-36 où l'on assiste à une baisse spectaculaire du coefficient de Gorczynski qui se stabilise, au terme des décennies 1932-41 et 1933-42, à une moyenne de 21,7 pour cent, soit un niveau jamais connu par Sfax durant tout ce siècle. C'est d'ailleurs durant cette période, que le coefficient de continentalité manifeste et ce, à deux reprises, sa valeur la plus faible : 16,9 pour cent en 1936 et en 1940.
- Cette importante phase de diminution de la continentalité allait s'annuler rapidement à partir de la décennie 1935-44 où le coefficient de Gorczynski subit une montée vertigineuse qui permet, en l'espace de 10 ans pratiquement, de retrouver le niveau de la continentalité réservée vers le début du siècle. Le coefficient "C" atteint ainsi de nouveau 27,4 pour cent durant la décennie 1943-52, soit le même niveau que celui qui caractérise la première et/ou la deuxième décennie mobile (1902-11). De même, au cours de la décennie 1944-53, la continentalité rejoint, avec 27,7 pour cent, le record déjà signalé pendant 1904-13. Pour rendre compte de cette variation brusque de la continentalité, il a été question de considérer le changement de site de la station (de Sfax-ville à Sfax-aérodrome). Toutefois, la covariation, particulièrement élevée entre Sfax et Sousse et aussi entre Sfax et Gabès et le haut degré de signification statistique du coefficient qui l'exprime ($r = 0,837$ avec Sousse et $r = 0,831$ avec Gabès), ne milite nullement en faveur d'une telle hypothèse. Ce qui montre que l'aggravation de la continentalité au cours de la décennie 1944-35 résulte d'un fait climatique naturel plutôt qu'"instrumental" comme le laisserait suggérer, par exemple, le changement du site de la station.
- Après avoir connu un effet remarquable de "compensation", la continentalité subit une nouvelle attérioration aussi importante que la première, une baisse qui semble persister jusqu'à nos jours. Les coefficients de continentalité accusent ainsi une diminution de plus en plus sensible, mais à travers une oscillation quasi-périodique. A son niveau le plus faible, la continentalité atteint 22,0 pour cent durant la décennie 1970-79, soit une valeur légèrement moins creusée que celle du minimum record (21,7 pour cent) signalé pendant 1932-41 ou 1933-42. A l'instar des autres stations littorales, le recul du caractère continental fut remarqué essentiellement au cours des années 1974 (17,8 pour cent), 1977 (19,6 pour cent) et 1979 (18,7 pour cent). Ces mêmes années se caractérisent au demeurant par des modules pluviométriques sensiblement inférieurs à la normale.

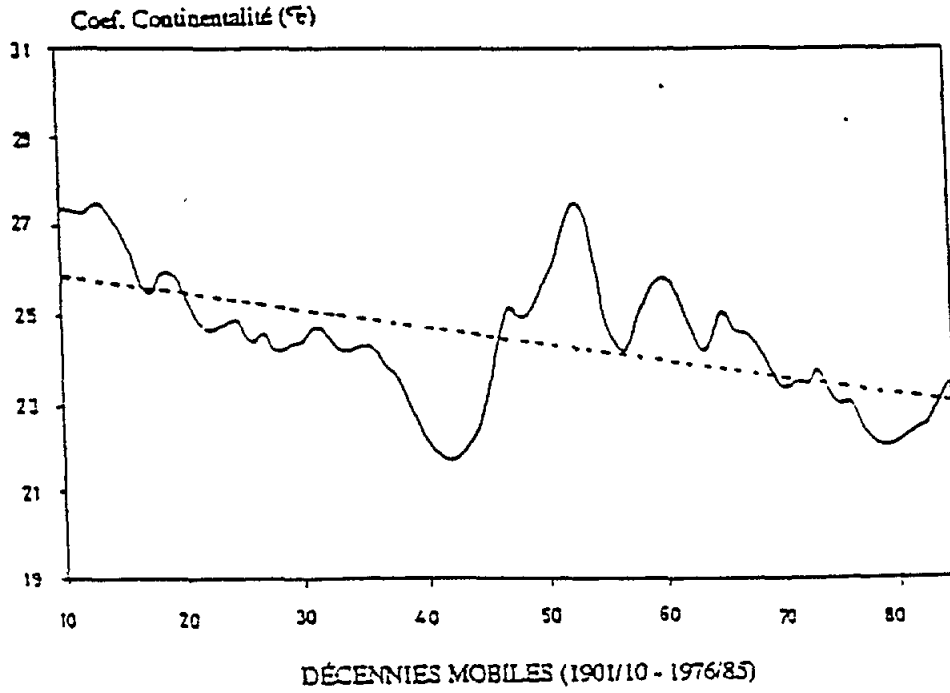


Figure 20 - Variation de la continentalité à Sfax (1901-85)

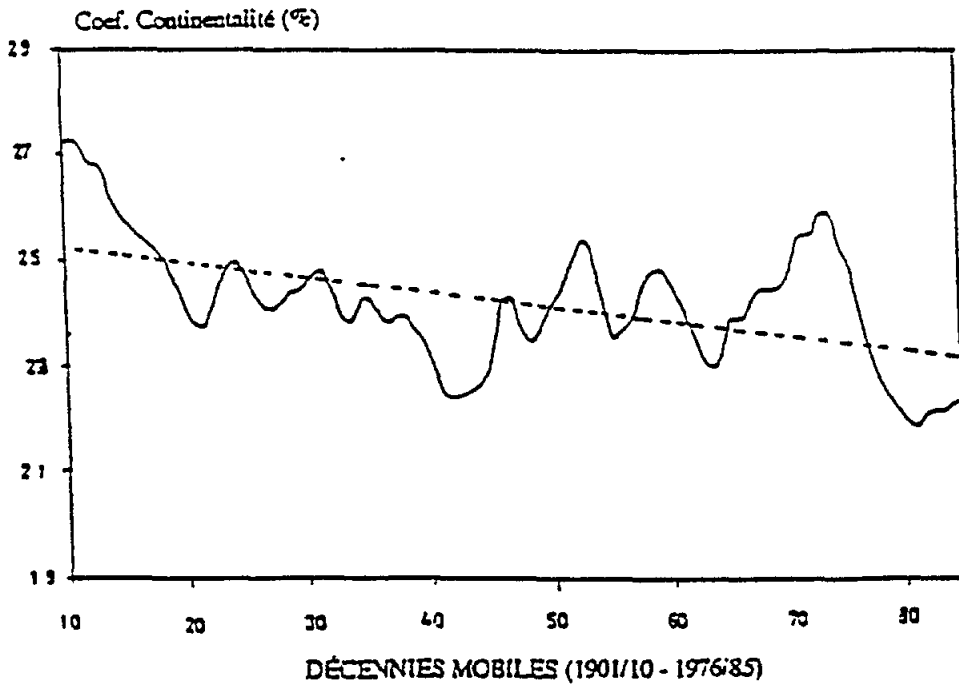


Figure 21 - Variation de la continentalité à Sousse (1901-85)

Au niveau des précipitations

L'application des mêmes procédures de traitement statistique aboutit, pour les pluies, à des résultats peu consistants quant à l'identification de tendances nettes et significatives (Tableau 10).

Tableau 10: Tendances pluviométriques séculaires à Sfax (1901-90)

	\hat{a}	$\hat{a} / \sigma_{\hat{a}}$	Risque d'erreur (pour cent)
Septembre	+0.000	0,076	N.S
Octobre	+0.011	1,869	6,50
Novembre	-0.003	-0.558	N.S
Décembre	+0.009	1,866	6,54
Janvier	-0.004	-0.902	N.S
Février	+0.004	0.883	N.S
Mars	-0.000	0.045	N.S
Avril	+0.005	1,009	N.S
Mai	-0.002	-0.418	N.S
Juin	+0.000	0.072	N.S
Juillet	+0.006	0.568	N.S
Août	+0.018	1,459	N.S
Automne	+0,007	1,257	N.S
Hiver	+0.003	0,847	N.S
Printemps	+0.002	0.511	N.S
Eté	+0.008	1,200	N.S
Année	+0.003	1,763	8,14

N.S indique une tendance générale statistiquement non significative.

Le tableau 10 permet de dégager trois remarques importantes:

- Contrairement aux températures moyennes, les pluies à Sfax ne montrent aucune tendance générale nette et significative que ce soit à l'échelle mensuelle ou à l'échelle saisonnière.
- Certes, des signes d'augmentation pluviométrique peuvent être signalés au niveau des totaux annuels, mais la tendance générale positive demeure extrêmement faible et sans grande signification statistique.
- A l'échelle mensuelle, il est possible de dire que les pluies se caractérisent par un état quasi stationnaire sauf peut-être pour octobre et décembre où l'on enregistre une tendance sensible mais assez faible à l'augmentation.

2.2. Lithosphère

2.2.1. Cadre géologique

Le bassin versant du Sahel de Sfax, légèrement ridé, est essentiellement formé de vastes dépressions occupées par des sebkhas. Le Sahel de Sfax qui borde à l'Est la zone des basses steppes, apparaît en surface peu tectonisé étant donné que sa structure est presque totalement enfouie sous les sédiments miocènes. Une partie de ce domaine considérée comme une plate forme stable se prolonge en mer sous la forme d'un large plateau: le "môle de Kerkennah".

La zone côtière de Sfax s'intègre dans la plate forme du Sahel qui a été structurellement, l'unité la plus stable dans l'histoire géodynamique régionale. Les formations géologiques sont très peu structurées. Quelques puits antiques affectent les couches pliocènes. Les affleurements datent du Quaternaire du Miocène et du Pliocène (Aman, 1984).

Les grands ensembles lithologiques de la région, comme les décrivent les coupes réalisées par Aman (1984), se présentent comme suit (Figure 22), de la base au sommet:

- la croûte calcaire à Hélicidés du Villafranchien;
- les conglomérats à galets à blocs calcaires et à coquilles du Paléotyrrhénien;
- les sables argileux continentaux à Hélix d'âge Eu-Paléotyrrhénien;
- les grès coquilliers de l'Eutyrrhénien;
- les conglomérats à blocs et/ou galets de grès d'âge Néotyrrhénien;
- les argiles sableuses rouges post-Néotyrrhénien;
- le Tyrrhénien supérieur qui se présente sous forme de couches massives de calcaires lumachelliques;
- les limons sableux roses d'âge holocène;
- la croûte zonée naturel du Pléistocène supérieur;
- enfin les limons sableux beiges ou sables à tessons de poterie d'âge historique qui coiffent directement le niveaux du sol actuel.

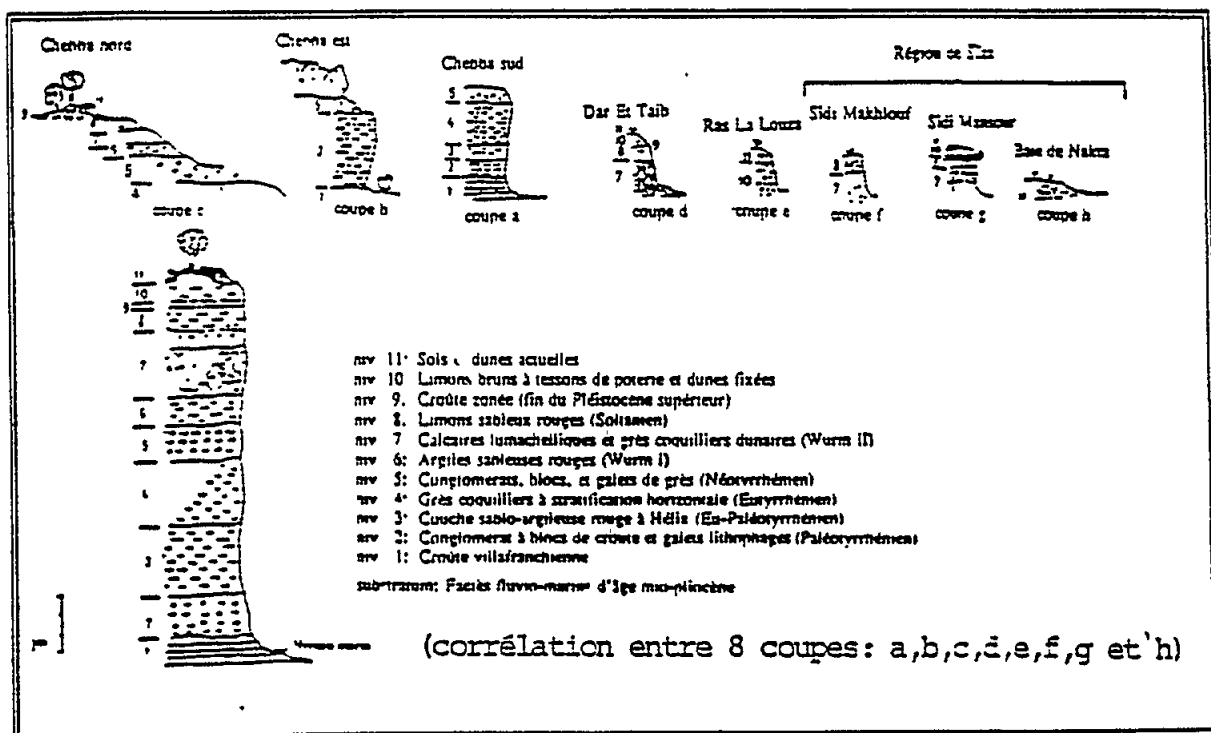


Figure 22 - Coupe géologique synthétique dans le bassin du Sahel de Sfax (Aman, 1984)

Dans le cadre du projet géotechnique de Sfax, Ben Dhia *et al.* en 1990 ont décrit la structure du sous-sol. Ainsi, le faciès céntique (fraction fine à moyenne) formé de limons, limons sableux, argiles sableuses, sables et sables silteux caractérisent les niveaux continentaux du sous-sol. A l'heure actuelle, les phénomènes pédocologiques semblent considérablement ralentis, les croûtes ne se forment pratiquement pas avec la faible pluviosité. Cependant, une croûte zonée, presque située à l'altitude du niveau mann, d'épaisseur variable, surmonte les sables fins silteux du Soltanien ainsi que les vases et les sables argileux manns du Fiandrien. Le Villafranchien est coiffé par une croûte calcaire dure.

Les lits des oueds sont marqués par des faciès graveleux et sablo-argileux dans la plupart des horizons continentaux. Les niveaux marins du sous-sol de Sfax sont constitués de vases, de sables vaseux, d'argiles ou de calcaires et de grès coquilliers.

2.2.2. Cadre géomorphologique

La zone côtière de Sfax et ses alentours occupent une plaine basse puisque les altitudes sont souvent inférieures à 30 m. Cette plaine se caractérise par une monotonie et une platitude remarquables. Elle est bordée par une série de collines culminants à 100 m d'altitude au plus à 20 km environ de la côte. Elle montre une pente faible, de direction grossièrement Est-Ouest, et se raccorde à la mer Méditerranée par des zones à pente presque nulle: les sebkhas. Il s'agit de vastes dépressions qui sont réparties comme suit.

Sebkha mta e: Rherra au Nord;
Sebkna Bou Jmel au Centre Nord;
Sebkha Mechiguig à l'Ouest;
Sebkha En Ncua, Oudrane et El Bahar au Sud.

Une partie de ce domaine, considérée comme une plate-forme stable, se prolonge en mer sous la forme d'un large plateau: le "Mole de Kerkennah".

La morphologie de cette région légèrement ridée, est essentiellement conditionnée par le phénomène d'érosion surtout pendant les crues des oueds. Drainée par un ensemble de cours d'eau installés sur un terrain souvent fragile, à formations meubles essentiellement sableuses, la région d'étude souffre pendant la saison humide d'une érosion hydrique. En effet, le Sahel de Sfax reçoit souvent des pluies sous la forme d'averses violentes. De telles pluies favorisent l'érosion hydrique, soit par l'encassement vertical et l'élargissement latéral des lits des cours d'eau ou même par la création de nouveaux ravins. D'autre part, l'érosion éolienne est essentiellement due à l'action des vents et accentuée par la faible pluviosité et la surexploitation des sols et du couvert végétal. Quant à l'extraction de sable des lits d'oueds, elle accélère l'action morphologique des eaux de ruissellement surtout pendant les crues. Une évolution continue, de ces différents facteurs à la fois naturels et anthropiques, entraîne une dégradation inquiétante des terres utiles et la menace d'un appauvrissement des potentialités agricoles dans une zone à vocation industrielle.

2.2.3. Pédologie

D'une façon générale, le sol de la zone considérée est de texture relativement variable, avec des taux normalement élevés en argile (0,002 mm de diamètre) pour le secteur salé, en limon (0,02 mm de diamètre) et en sable (diamètre >0,02 mm) pour le secteur non salé ou plutôt cultivé.

Au niveau chimique, on souligne la salinité du sol avec l'apparition de l'hydromorphie durant la saison des pluies. Le pH est donc alcalin, avec des valeurs nettement supérieures à 7 (selon les endroits). Ceci suppose une importante conductivité électrique (exprimée en mmhos). En ce qui concerne sa teneur en matière organique, ce sol renferme des taux voisins de 1 pour cent. De ce faible taux de matière organique, résulte une teneur en azote du sol, notamment en conditions de fortes températures.

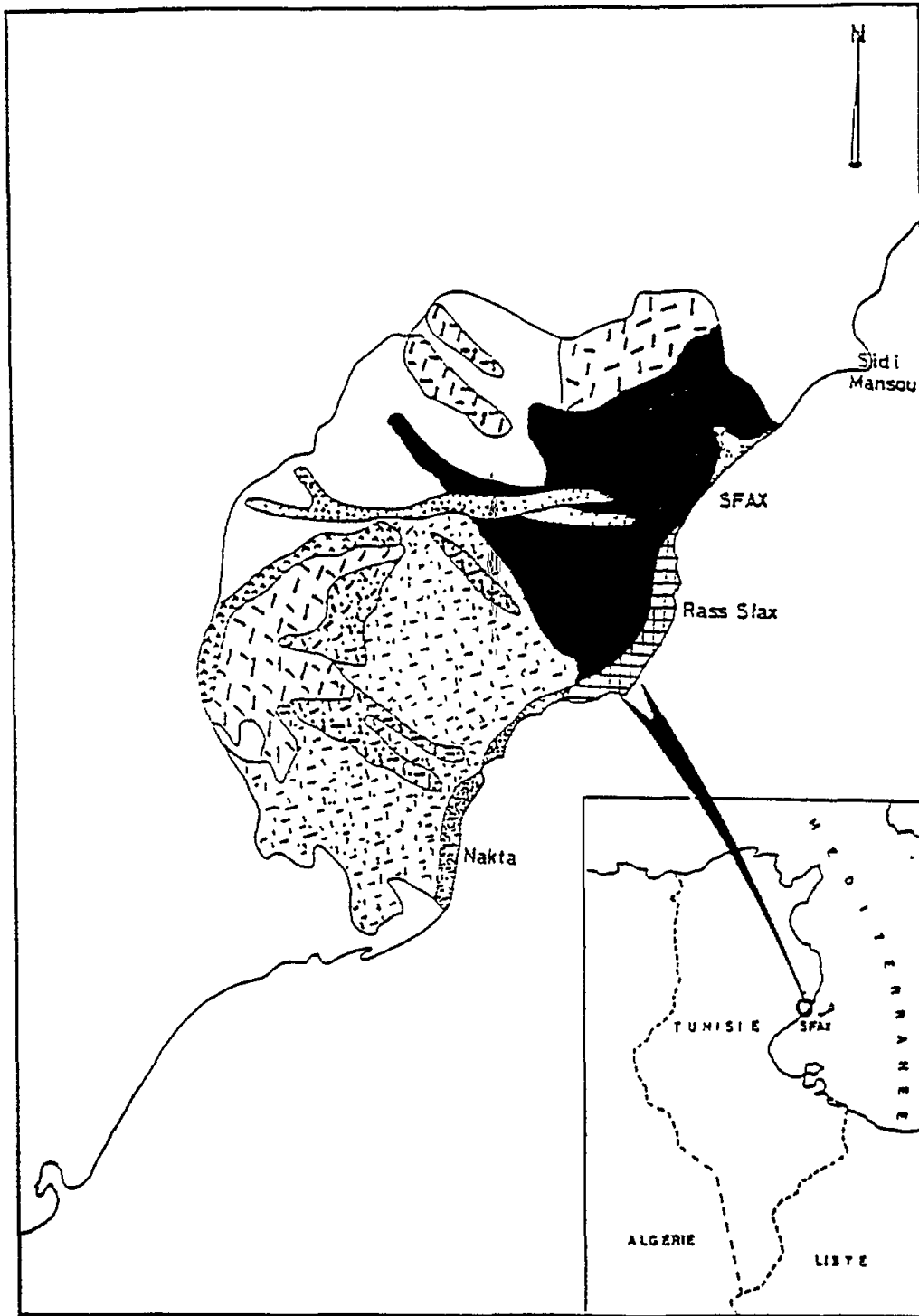
La zone d'étude se caractérise par un milieu édaphique faiblement contracté puisqu'on n'observe pas une grande variabilité des types de sols. Ainsi, d'après la carte pédologique de la Tunisie, à l'échelle 1/50 000 (D.R.E.S. 1973), les grandes formations édaphiques ainsi que les principaux faciès rencontrés dans cette zone sont les suivantes (Figure 23):

- Sol d'origine non climatique d'apport modal sur apport fluvial: il s'agit d'une formation de sol peu évoluée, caractérisant essentiellement les vergers de la ville de Sfax. Cette formation est en perpétuelle régression en raison de l'extension de l'urbanisation.
- Sol halomorphe, tantôt à encroûtement salin superficiel, tantôt à horizon superficiel poudreux. Cette formation étant strictement littorale, s'observe sur la ligne Sfax-Nakta.
- Sol halomorphe très salin à encroûtement superficiel: c'est un faciès de sol salé essentiellement rencontré au large de la partie Sud de la ville de Sfax. Son étendue géographique au sein de la zone concernée par l'étude, est relativement faible.
- Sol isohumique subtropical, brun encroûté: c'est la formation la plus rencontrée au sein de la zone concernée par la présente étude, surtout localisée dans sa partie Sud et s'étendant largement au-delà de ce secteur. Cette formation présente un intérêt économique incalculable du fait qu'elle est occupée par une bonne partie de l'oléagineux de Sfax.
- Formation de sol: calcomagnésimorphe, sous formation rendziniforme, essentiellement représentée par des rendzines et des sols bruns calcaires sur croûte ou conglomérat: ce type de sol occupe une faible partie de la zone d'étude, en particulier de son arrière-pays. Compte tenu de sa localisation au sein de la formation précédente, on peut supposer qu'il résulte d'une dégradation de cette dernière.
- Sols minéraux bruts d'origine non climatique, d'apports fluviaux: comme peut l'indiquer son nom, cette formation occupe un lit d'écoulement et est plutôt constituée par des apports alluviaux. C'est donc un type de milieu édaphique très particulier, ne présentant pas un grand intérêt économique puisqu'il est peu rencontré dans cette zone.
- Sol isohumique subtropical, brun jaune (ou sierozem) associé à des lithosols sur croûte calcaire: il s'agit d'une formation bordant la zone concernée par l'étude. Par son aspect squelettique, l'origine de cette formation laisse présumer une altération des sols bruns encroûtés, formation principale de la zone d'étude.
- Sols minéraux bruts d'origine non climatique à formation de sol lithosolique ou régosolique: il s'agit d'une formation de sol squelettique, marginal, susceptible de servir uniquement comme impluvium aux encroûtements avoisinants. Cette formation ne concerne le secteur d'étude que par une faible partie en arrière du pays.

Nous constatons donc d'après ces formations pédologiques, qu'en dépit de sa superficie restreinte, la zone retenue pour l'étude présente un certain contraste du milieu édaphique. Ainsi à partir des différentes formations pédologiques ci-dessus énumérées, nous pouvons dégager selon la texture, les groupes de sols suivants:

- groupe des sols squelettiques
- groupe des sols légers et moyennement légers
- groupe des sols hydro-halomorphes ou lourds

Ainsi, compte tenu de leurs caractéristiques physico-chimiques, ces différents groupes de sols pourront réagir différemment aux éventuels changements climatiques, susceptibles d'avoir lieu dans la région.



Légende de la carte Pédologique
(extrait de ORES, 1973)

- | | |
|---|--|
| <p>SOLS PEU EVOLUES D'ORIGINE NON CLIMATIQUE D'APPORT
Sols d'apport modaux sur apport fluvial</p> <p>SOLS HALOMORPHES</p> <p>Sols très salés à encroûtement sans superficiel</p> <p>Association des deux unités précédentes</p> <p>SOLS BIOMORPHES SUBTROPICAUX</p> <p>Sols bruns encroûtés</p> <p>Sols bruns légers (ou sérazems) associés à des rhizomes sur croûte calcaire</p> | <p>SOLS CALCOMAGNÉSIMORPHES RENZINIFORMES
Rendzines et sols bruns calciques sur croûte ou conglomérat</p> <p>SOLS MINÉRAUX BRUTS D'ORIGINE CLIMATIQUE</p> <p>Limosols régozols (éventuellement sols rhizocoules et régozols, associés à de rares sols calcimorphes)</p> <p>Sols d'apport fluvial</p> |
|---|--|

Figure 23 - Les différents types de sols dans la zone d'étude

2.3. Hydrosphère

2.3.1. Hydrologie de surface

Au cours des périodes humides du Quaternaire ancien, l'édification d'un réseau hydrographique a tronqué les formations plio-quaternaires donnant lieu à un ensemble de petites vallées qui sont presque perpendiculaires à la ligne côtière et qui sont empruntées de nos jours par les oueds en période de crues. Ainsi plusieurs unités hydrologiques d'importance inégale caractérisent le Sahel de Sfax (Figure 24). Ces unités correspondent aux sous-bassins versants dont le drainage s'effectue vers le mer Méditerranée.

La rareté des précipitations ainsi que la platitude remarquable de la région confèrent aux oueds un caractère temporaire dont l'origine est à rechercher au niveau des bombements mio-pliocènes à l'Ouest.

Par ailleurs, les principaux oueds identifiés sont du Nord au Sud:

Oued S.c. Saïan
Oued Agareb
Oued Craffar
Oued Terfacou
Oued Ouadrane

L'oued le plus important dans la région est celui d'oued Leben. Celui-ci traverse d'Ouest en Est, les reliefs de Menin-Zebbeus et de Dribika el Hamra, et devient vers l'aval oued Oudrane pour rejoindre finalement la plaine littorale dans les environs de Hachichina.

Le reste des unités hydrographiques débouche dans des dépressions fermées (sabkhas). Malgré leur caractère secondaire, aussi bien par leur taille que par leur indice de pente, les oueds dans ce secteur présentent des risques de débordements provoquant ainsi des inondations au moment des crues, des menaces et des dégâts énormes. En effet, c'est surtout au lendemain des inondations de 1982 survenues dans la région de Sfax, et devant l'importance des dégâts matériels et surtout humains, que l'on a été amené à penser sérieusement à la protection de la ville de Sfax contre d'éventuelles inondations par l'édification d'un canal-céinture. Ce canal qui, autrefois, a été consacré aux eaux pluviales, est transformé actuellement en partie, en un collecteur d'ordures ménagères et des eaux usées du réseau d'assainissement de l'ONAS. Cette situation contribue en partie à la pollution marine de la zone côtière de Sfax.

L'oued el Macou, qui résulte de la confluence des oueds Agareb et el Aouabed constitue l'exutoire naturel du bassin versant d'oued Amer. Il débouche dans la mer au niveau des salines. La charge d'el Macou est faite principalement d'éléments fins puisqu'il prend naissance et coule sur des terrains essentiellement argileux. Une telle lithologie imperméable favorise le ruissellement concentré, l'érosion et le transport.

Quant à la mobilisation des eaux de surface, Amouri (1994) a estimé que le taux des eaux de ruissellement s'élève à 45 millions de mètres cubes par an et que le potentiel mobilisable est de l'ordre de 22,5 millions de mètres cubes par an. Toutefois, le volume actuellement mobilisé n'est qu'environ 4,2 millions de mètres cubes par an soit 19 pour cent des ressources mobilisables.

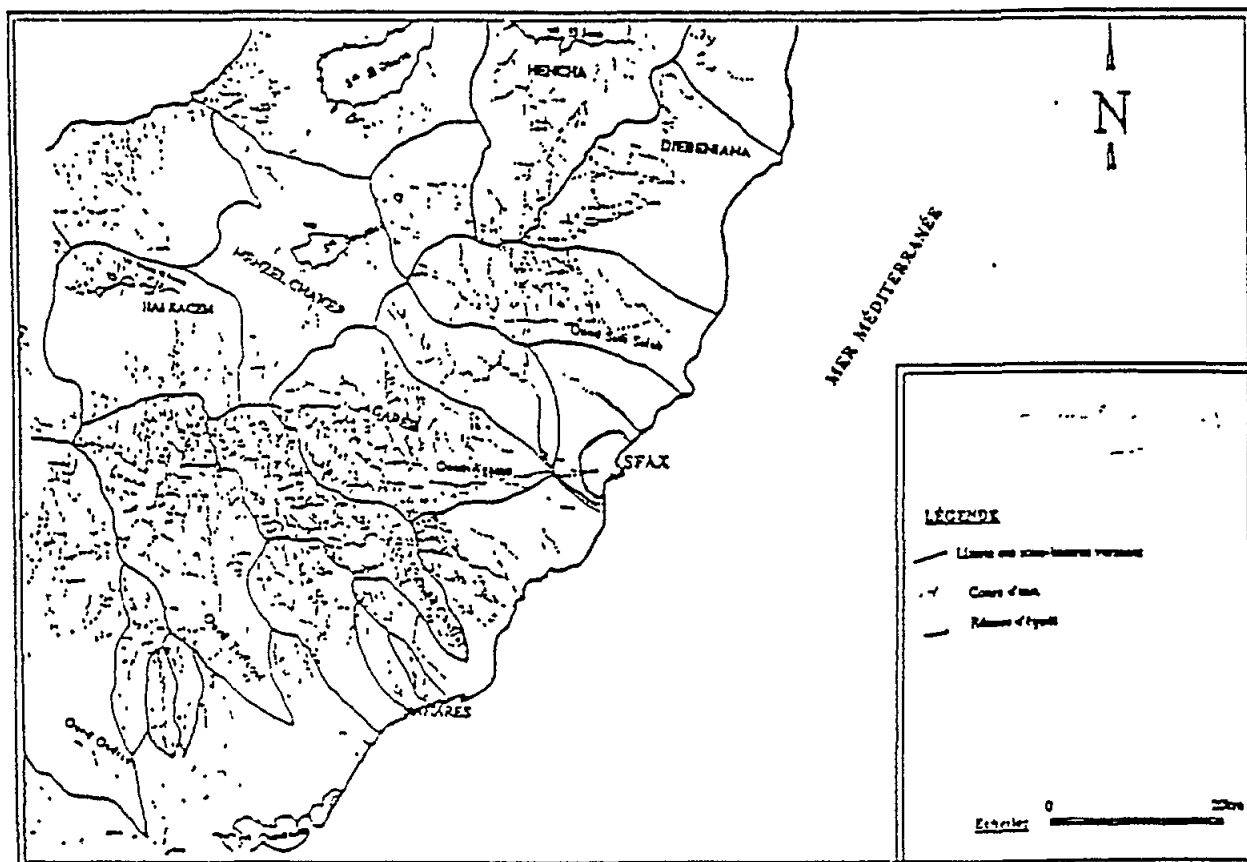


Figure 24 - Réseau hydrographique dans le Sahel de Sfax

2.3.2. Cadre hydrogéologique

Dans le Sahel de Sfax, les facteurs économiques, démographiques et naturels font de l'étude, de la gestion et de la protection des ressources en eau, un des enjeux vitaux pour la région.

Les travaux antérieurs montrent que les nappes phréatiques sont de plus en plus exploitées à des fins agricoles où certaines d'entre elles jouent le rôle de réceptacle aux divers rejets urbains comme c'est le cas de la nappe urbaine de Sfax (Beni Akhy, 1994).

Les différents aquifères rencontrés dans le sous-sol du Sahel de Sfax, ont été reconnus par les nombreuses données de puits de surface et profondes. D'après leur nature lithologique détritique, deux formations géologiques sont susceptibles de contenir une nappe.

La première formation constitue la nappe phréatique et la deuxième capte la nappe profonde de Sfax.

2.3.2.1. La nappe phréatique

Durant la dernière décennie, le Sahel a connu une grande extension des périmètres irrigués à partir des puits de surface captant les nappes phréatiques.

Ces nappes sont considérées comme aquifères secondaires du fait que sur le plan quantitatif, leurs contributions aux ressources en eau de la région sont relativement limitées et certaines d'entre elles se trouvent déjà à un stade de surexploitation avancé. Vu l'intérêt que représente ces sites en matière agricole, les nappes se trouvent de plus en plus sollicitées. Cette situation a conduit à une dégradation de la qualité chimique illustrée par l'augmentation de la salinité des eaux et localement par le danger réel d'intrusion d'eau marine (cas des nappes littorales).

La nappe phréatique est renfermée dans des assises sableuses du Quaternaire ancien (Illy, 1968; Hajjem, 1980). Son réservoir est composé en général de deux horizons productifs (trois dans la région de Chaffar; Hajjem, 1985). Ces horizons, dont l'épaisseur est de l'ordre de 2 à 5 m (rarement plus), sont séparés par des semi-perméables argilo-sableuses permettant leur communication.

Les formations réservoirs, souvent à caractère alluvionnaire, présentent une variation latérale du faciès, allant de sables argileux à graviers et sables avec du gypse à des sables grossiers à gypses, de graviers plus ou moins grossiers et des argiles sableuses. Cette variation latérale de la lithologie de la formation fait que les paramètres hydrodynamiques sont irréguliers aussi bien verticalement qu'horizontalement.

La topographie monotone et la couverture géologique entièrement dominée par des formations quaternaires ne permettent pas d'y localiser des structures de bassins hydrogéologiques. Par contre, l'existence de dépressions à l'intérieur de la région et d'oueds le long de la zone côtière permet de délimiter des bassins hydrogéologiques plus individuelles. Ainsi, il a été possible de délimiter 16 nappes phréatiques, d'importance variable dont neuf le long du littoral et sept continentales.

La nappe phréatique est captée par des puits de surface dont la profondeur du plan d'eau est assez variable d'un aquifère à un autre et également au sein du même aquifère. La profondeur varie entre zéro (le long du littoral) et 30 à 40 m dans les zones les plus hautes à l'intérieur du continent (40 m en amont de la nappe de Djebeniana - 23 m de la nappe urbaine de Sfax) (Figure 25).

L'écoulement des eaux souterraines est pluri-directionnel. En général, il est du Nord-Ouest vers le Sud Est, en direction de la mer Méditerranée, principal exutoire pour les nappes littorales. Cependant, au Nord de la ville de Sfax, la nappe phréatique de Djebeniana montre un écoulement de la mer vers l'intérieur du continent traduisant ainsi l'invasion de l'eau marine (Maliki, 1994). Ceci témoigne de la surexploitation de la nappe suite au pompage de plus en plus intensif.

Le suivi de l'état piézométrique des aquifères phréatiques de Djebeniana et de Sidi Abid, au cours des deux dernières décennies a montré un abaissement continu du niveau piézométrique dans les zones exploitées à des fins agricoles. Ainsi, nous avons enregistré des cotes piézométriques négatives: -4m par rapport au niveau général de la mer (NGM) à l'Ahzeg (Maliki, 1994) et -2 m à Sidi Abid (Figure 26).

L'étude de l'évolution du niveau piézométrique de la nappe urbaine de Sfax (Figure 26) a révélé une remontée de plus de 10 m dans les zones nord-centrale de la ville très peuplées et mal assainies, probablement en liaison avec les rejets domestiques directement dans les puits perdus. En effet, sur la période 1969-1993, les profils (Figure 27) montrent une remontée globale de l'ordre de:

- 9 m sur la route de Gremda (km5 et 6);
- 7 m sur la route de Mancía (au niveau du canal d'oued Ezzit).

Cette élévation est loin d'être uniforme tant dans l'espace que dans le temps. Elle est maximale au niveau des alignements des cités Gremda, Chihia et Sakiet Ezzit (Figure 28). En revanche, la surexploitation de la nappe phréatique à Sidi Abid entraîne un rabattement de l'ordre de deux mètres (Beni Akhy, 1994).

Cependant, à Djebeniana, la remontée du niveau piézométrique a été décalée à 9 km de la côte où des actions CES (Conservation des Eaux et des Sols) ont été entreprises par la Direction des Ressources en Eaux de Sfax (Maliki, 1994).

Dans la région de Chaffar située au Sud de la ville de Sfax sur les rivages de la mer Méditerranée, l'évolution globale du niveau piézométrique entre 1973 et 1983, indique une légère baisse de l'ordre de 1m dans le secteur situé entre l'Oued Chaffar et Sidi Bouakkazine (Hajjem, 1985).

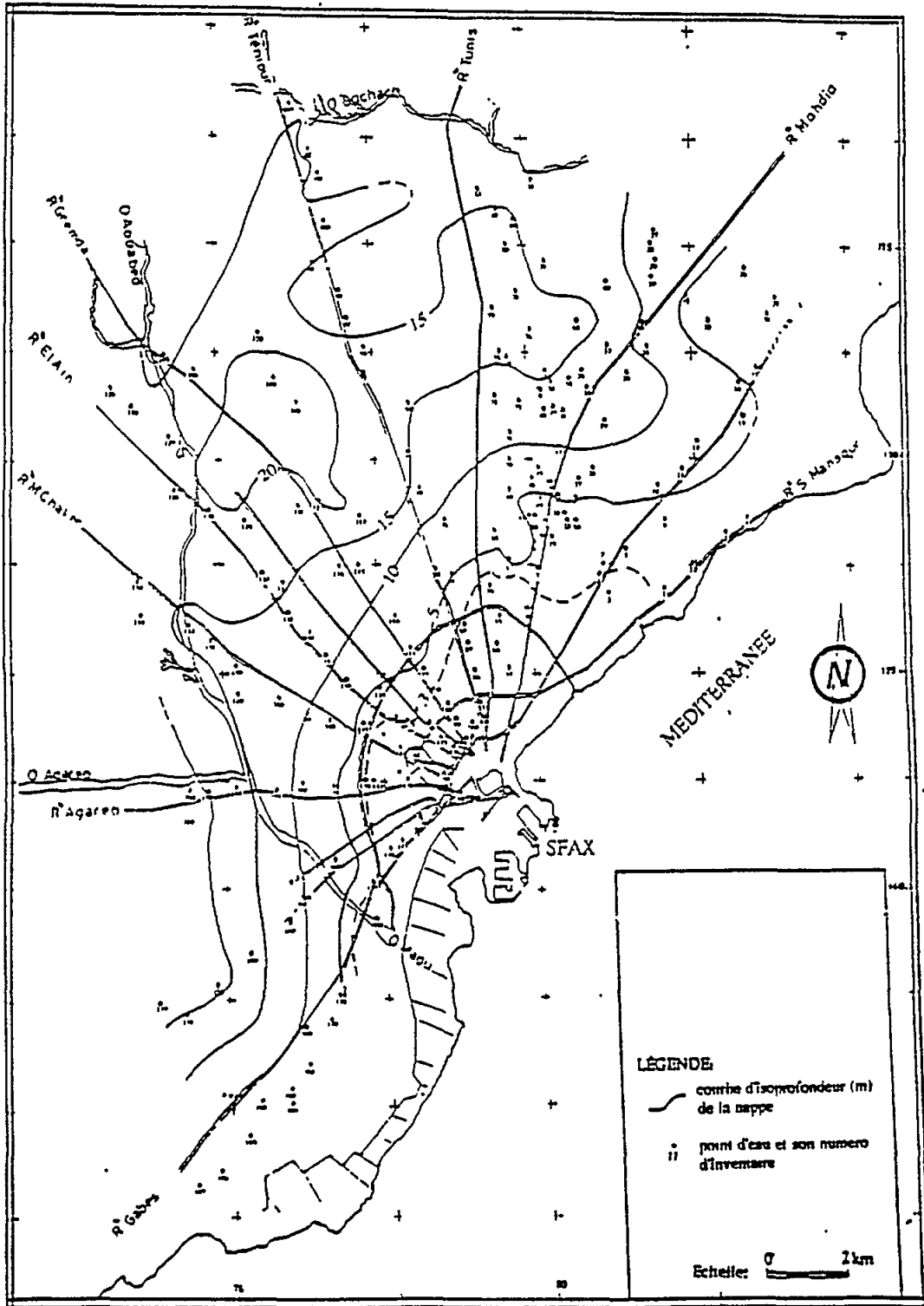


Figure 25 - Carte d'isoprotendeur du plan d'eau de la nappe phréatique de Sfax

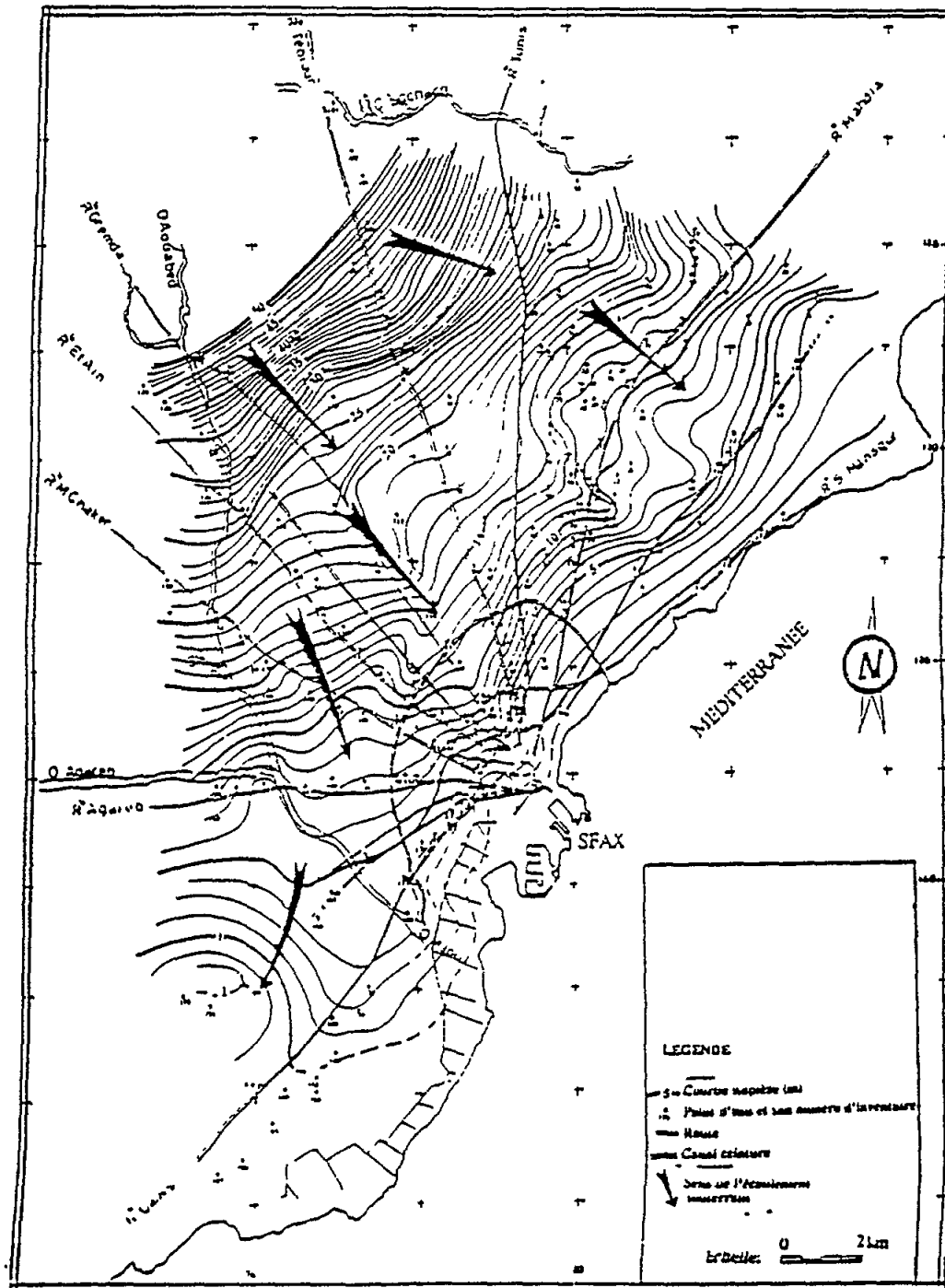


Figure 26 - Carte piézométrique de la nappe phréatique de Sfax

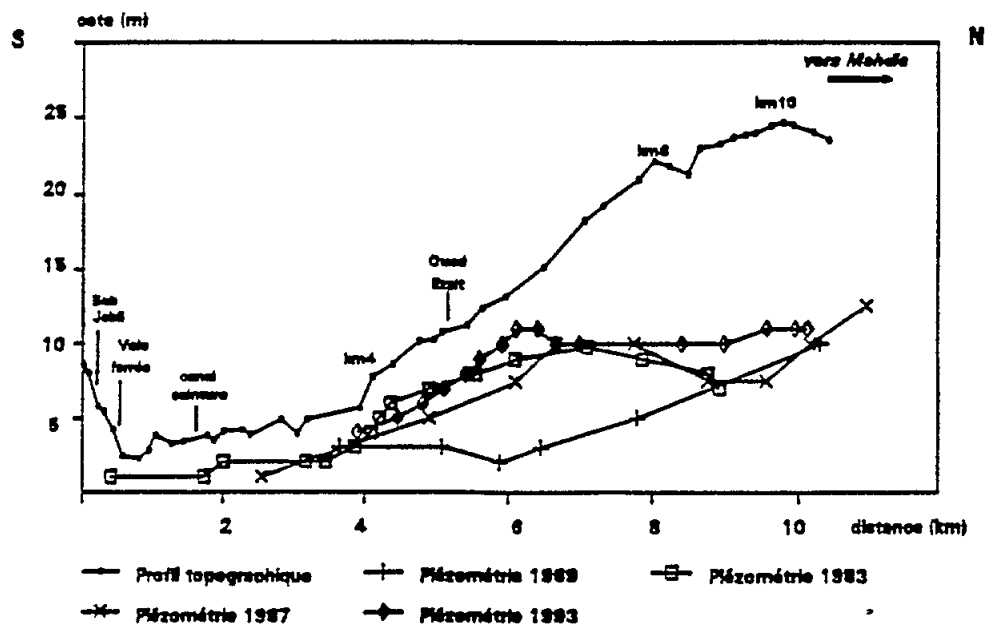
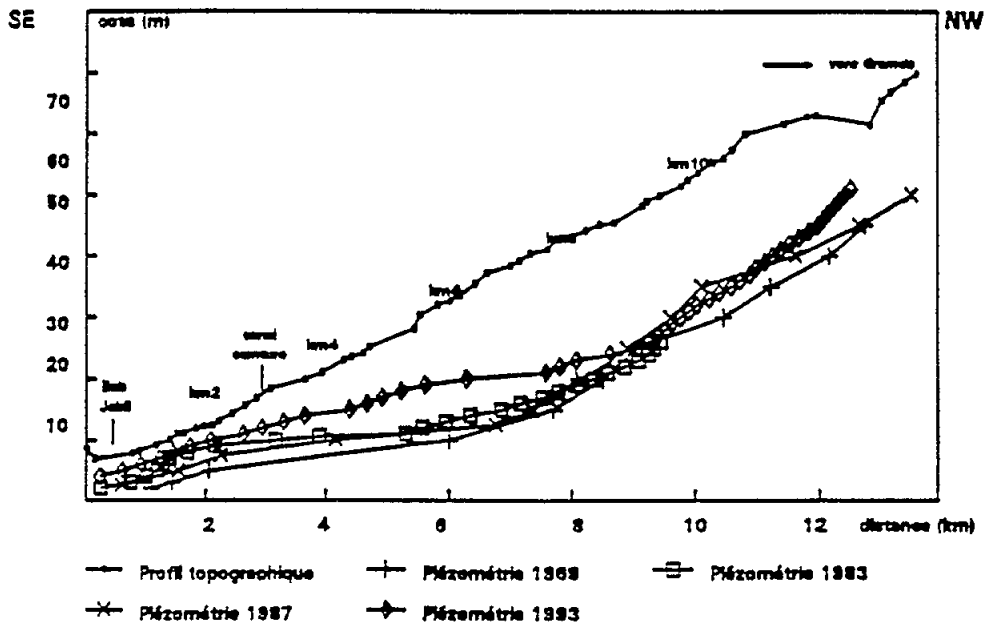


Figure 27 - Profils chronologiques de la nappe phréatique de Sfax le long des routes de Gremda (en haut) et de Mahdia (en bas)

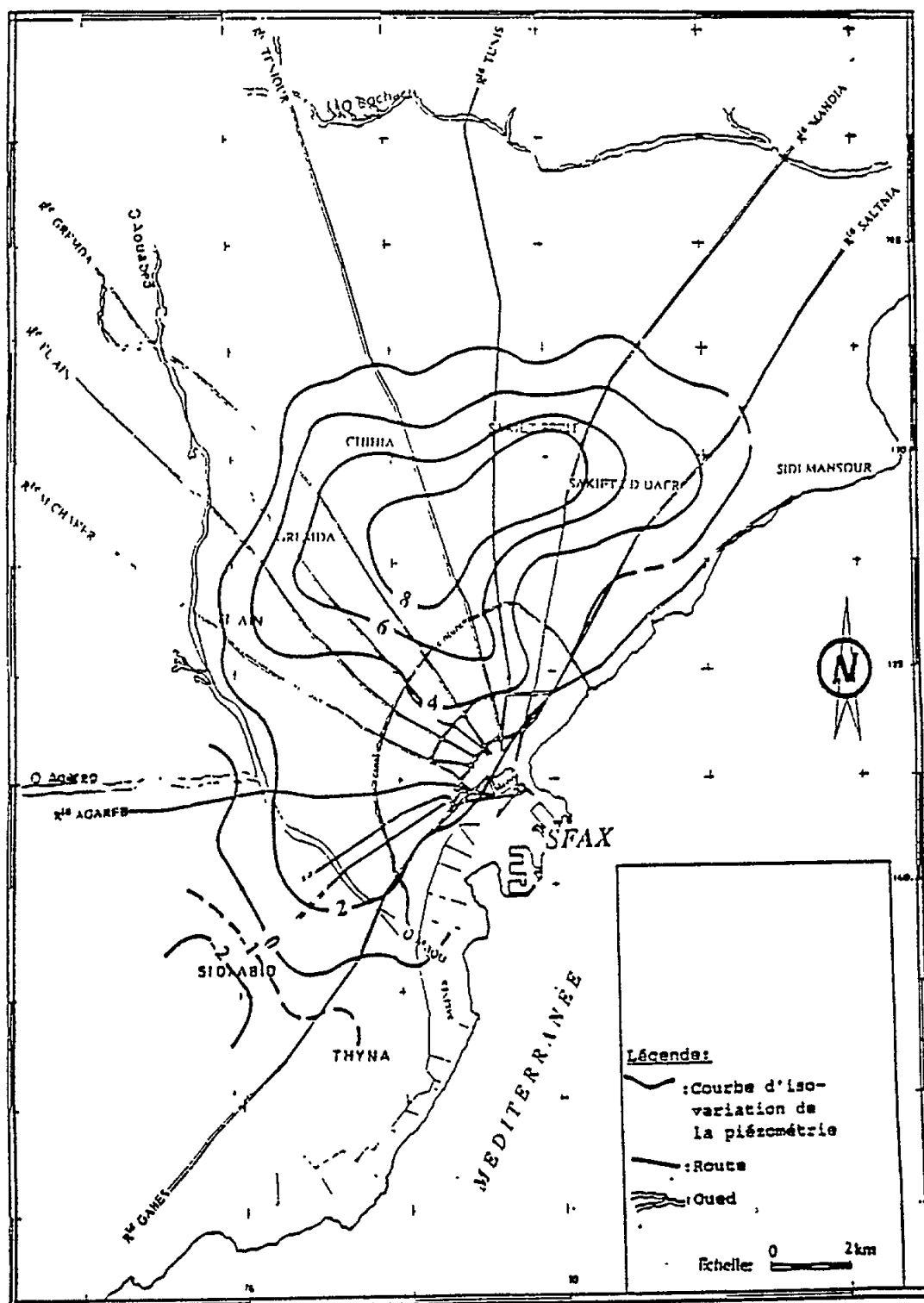


Figure 28 - Carte d'isovariation de la piézométrie de la nappe phréatique de Sfax entre 1969 et 1993

2.3.2.2. La nappe profonde de Sfax

La deuxième formation géologique du sous-sol du Sahel de Sfax correspond à la nappe profonde (Figure 29) Elle couvre tout le Sahel de Sfax et se poursuit sous la mer jusqu'aux îles Kerkennah. Son extension "off shore" se limite au Nord à la région de Ksour Essaf où on assiste à une disparition de la série sableuse et au Sud, probablement au large de Skhira (Hajjem, 1989). D'une superficie de 3000 km², la nappe est logée dans la série sableuse du Miocène continental (Serravalien)

Cet aquifère dont l'épaisseur est comprise entre 200 et 300 m est capté à une profondeur qui varie entre 250 à 500 par rapport au terrain naturel (Zebidi, 1989).

Les corrélations entre les différents forages pétroliers et forages d'eau, ont permis de définir la structure géométrique du réservoir de l'aquifère en question.

La nappe profonde de Sfax est captée depuis longtemps par des forages artésiens à usages industriels et agricoles. La majorité de ces forages est concentrée dans la zone côtière entre Mahdia et Skhira. Intéressants sur le plan d'exploitation du fait de l'artésianisme de la nappe ces forages présentent toutefois l'inconvénient d'une eau à salinité relativement élevée (1,7 à 15,3)

Par suite de la croissance démographique, économique (l'agriculture et l'industrie), de l'amélioration du niveau de vie du citoyen, la demande en eau est en constante progression. C'est dans ce sens que de nombreux forages IRH ont été programmés au cours du VIII Plan (1992-1996), pour répondre à ces besoins d'une part, et pour mieux connaître l'hydrogéologie de la partie continentale de la nappe, d'autre part. Les forages exécutés montrent que la nappe profonde est captée à des profondeurs variant entre 200 m à 700 m. Un ensemble argileux et argilo-marneux d'une épaisseur moyenne de 400 m sépare les deux systèmes aquifères de surface et profond.

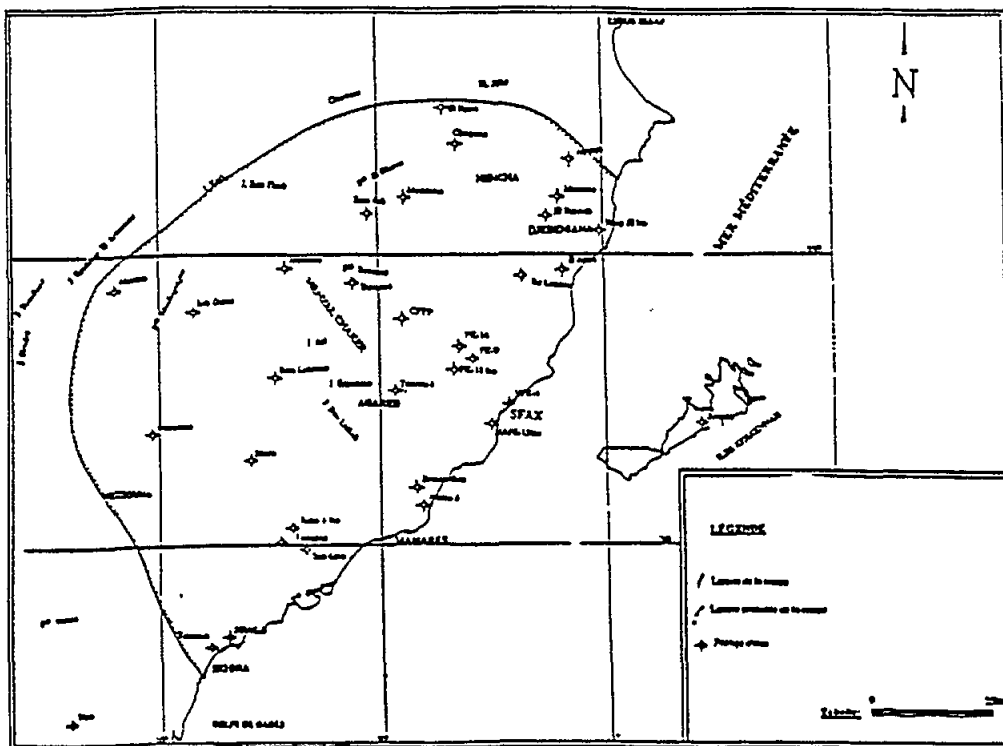


Figure 29 - Localisation des forages d'eaux captant la nappe profonde de Sfax

Quant à l'exploitation de la nappe, elle est passée de 9,5 millions de m³ en 1986 à 17 millions de m³ en 1993. Cette progression résulte essentiellement de la mise en production de nouveaux forages.

L'application de la géochimie isotopique, démarrée depuis quelques mois pour l'étude des eaux souterraines et notamment l'étude de la recharge suggère d'ores et déjà (suite à une dizaine de datations par le carbone-14) que la phase majeure de la recharge des eaux profondes remonte à quelques milliers d'années (Pléistocène supérieur-Holocène) (Zouari et Maliki, en préparation).

2.4. Ecosystèmes naturels

2.4.1. Ecosystèmes terrestres

2.4.1.1. Ecosystèmes salés

Comme pour le reste du littoral tunisien, cette zone renferme une flore essentiellement halophile ou végétation azonale (Planches 1 & 2, pages 151 et 152). On y rencontre des différentes catégories d'espèces depuis les plus strictement halophiles jusqu'à celles qui sont faiblement halophiles ou gypsohaloclines.

Le Houérou (1969), distingue différentes associations de végétation azonale. Cette steppe sert normalement comme pâturage pour les camelidés. En absence de ces derniers dans la zone, le taux de recouvrement de la végétation naturelle se maintient relativement élevé, avec des valeurs voisines dans les meilleures situations de 25 à 30 pour cent. Parmi les espèces les plus rencontrées, on cite *Salsola tetrandra*, comme étant l'espèce la plus dominante, suivie de *Suaeda maritima* et *Frankenia thymifolia* comme espèces co-dominantes. Compte tenu du caractère azonal de la végétation du site, on observe une faible diversité spécifique. Au paragraphe ci-après, nous présentons la liste des principales espèces rencontrées.

Sur le tableau 11, nous rapportons la liste floristique des principales espèces spontanées, existantes au sein de ces formations végétales des sols salés.

Signalons que la plupart des taxons ci-dessus mentionnés, étant pérennes, ont un type biologique au sens de Raunkiaer (1934) correspondant aux *chaméphytes*, *nanopnannrophytes* ou *hémicryptophytes*. Ces types biologiques permettent aux espèces en question d'acquiescer une adaptation et une survie durant les conditions de précipitations et/ou de température défavorables. A côté de ces espèces, on rencontre dans la zone une flore d'annuelle ou Chérophytes, n'apparaissant que durant les années pluvieuses. Cette flore essentiellement composée d'*Hordeum maritimum*, *Plantago coronopus*, *Suaeda maritima*, etc... est très influencée par les changements climatiques.

Tableau 11 : Liste floristique des principales espèces spontanées des sols salés

Genre / espèce	Famille
<i>Atriplex halimus</i>	Chénopodiacées
<i>Atriplex mollis</i>	"
<i>Atriplex inflata</i>	"
<i>Arthrocnemum indicum</i>	"
<i>Halocnemum strobilaceum</i>	"
<i>Suaeda mollis</i>	"
<i>Suaeda fruticosa</i>	"
<i>Salsola tetrandra</i>	"
<i>Salsola tetragona</i>	"
<i>Salicornia arabica</i>	"
<i>Frankenia thymifolia</i>	Frankeniacees
<i>Frankenia pulverulenta</i>	"
<i>Zygophyllum album</i>	Zygophyllacées
<i>Nitraria retusa</i>	"
<i>Lygeum spartum</i>	Graminees
<i>Hordeum maritimum</i>	"
<i>Aeluropus litoralis</i>	"
<i>Sporobolus virginicus</i>	"
<i>Reaumuna vermiculata</i>	Tamaricacées
<i>Lycium arabicum</i>	Solanacées
<i>Launea nudicaulis</i>	Composées
<i>Tamarix africana</i>	Tamaricacées
<i>Juncus maritimus</i>	Joncacées
<i>Heliotropium curassavicum</i>	Boraginacées
<i>Imoniastrium monopetalum</i>	Plombaginacées
<i>Limonium prunosum</i>	"
<i>Limonium tunetanum</i>	"

2.4.1.2. Ecosystèmes non salés

La physionomie générale de la végétation de cet écosystème, telle qu'elle a été décrite par Labbe (1950) et Le Houerou (1959) est une steppe à *Rhantherium suaveolens* de la zone aride de Tunisie. Cependant, sous l'influence de la pression humaine qui remonte à plusieurs décennies, cette steppe a été en sa totalité défrichée en faveur de l'oléiculture, l'arboriculture et la céréaliculture. Toutefois, on observe aujourd'hui des vestiges de cette végétation climacique, colonisant encore les tabias, et les haies de clôture des champs. En revanche la végétation messicole se rencontre bien à l'intérieur des plantations.

- Végétation relique climacique

Cette végétation (Planche 3, page 153) a déjà été décrite par Long (1949). Il s'agit d'espèces pérennes rencontrées dans la zone concernée par l'étude. La présence des espèces très caractéristiques de la steppe à *Rhanterium suaveolens*, laisse supposer la colonisation autrefois de la zone par ce groupement de végétation naturelle. Ainsi, parmi ces espèces caractéristiques, les plus couramment rencontrées sont rapportées sur le tableau 12.

Tableau 12 : Liste de végétation relique climacique

Espèces	Familles botaniques
<i>Cenchrus ciliars</i> <i>Stipa lagascae</i> <i>Stipa retorta</i>	<i>Graminaceae</i>
<i>Rhanterium suaveolens</i>	<i>Compositae</i>
<i>Argyrolobium uniflorum</i> <i>Astragalus caprinus</i> <i>Retama raetam</i>	<i>Leguminosae</i>
<i>Helianthemum lippii</i> var. <i>sessiliflorum</i>	<i>Cistaceae</i>
<i>Echiochilon fruticosum</i>	<i>Boraginaceae</i>
<i>Plantago albicans</i>	<i>Plantaginaceae</i>
<i>Thymaelea hirsuta</i>	<i>Thymaeliaceae</i>

Végétation messicole

Le terme messicole, tel qu'il a été défini par Long (1954), désigne les espèces végétales naturelles ayant une appanion liée au défrichement et au labour.

Pour le cas de la zone d'étude, il s'agit de la végétation spontanée, colonisant les vergers et les plantations d'oliviers, rencontrées dans le site. Cette végétation ayant un cycle biologique au sens de Raunkiaer (1934) relativement court, et se desséchant généralement en fin de printemps, est essentiellement composée des espèces suivantes, les plus couramment observées (Tableau 13).

Tableau 13 : Végétation messicole

Espèces	Familles botaniques
<i>Lolium rigidum</i> <i>Cynodon dactylon</i> <i>Hordeum maritimum</i> <i>Avena fatua</i> <i>Phalaris minor</i> <i>Eromus rubens</i> <i>E. madritensis</i> <i>Aegylops ovata</i> <i>Schismus barbatus</i>	Graminaceae
<i>Centaurea dimorpha</i> <i>C. furfuracea</i> <i>Launea residifolia</i> <i>Volutaria lippii</i> <i>Picris coronopufolia</i> <i>Launea angustifolia</i> <i>Echinops spinosa</i> <i>Atractylis flava</i> <i>Artemisia campestris</i> <i>Anacyclis syrtolepidoides</i>	Compositae
<i>Diplotaxis harr</i> <i>D. simplex</i> <i>Looulana lybica</i> <i>Mathiola longipetala</i> <i>Resada alba</i> <i>Salvia verbenaca</i> <i>Eruca vesicana</i>	Cruciferae
<i>Eunorbia terracina</i>	Euphorbiacées
<i>Emex spinosus</i>	Caryophyllacées
<i>Anagallis arvensis</i>	Primilacées
<i>Daucus carota</i> <i>Pituranthos tortuosus</i>	Umbelliferae
<i>Mesembrianthemum cnstallinum</i>	Aizoaceae
<i>Malva aegyptiaca</i>	Malvaceae
<i>Nicotiana glauca</i>	Solanaceae
<i>Meililotus parviflora</i> <i>Medicago minima</i> <i>Argyrolobium uniflorum</i>	Leguminosae
<i>Chenopodium album</i>	Chenopodiaceae
<i>Erodium glaucophyllum</i>	Geraniaceae
<i>Polygonum equisetiforme</i>	Polygonaceae
<i>Echium pychnantum</i>	Boraginaceae
<i>Fagonia glutinosa</i>	Zygophyllacées

Végétation rudérale

Sachant que le secteur de l'étude est tel que nous l'avons déjà signalé, fortement urbanisé, on observe à proximité des constructions, une végétation spontanée à base d'espèces annuelles ou pérennes, dites rudérales ou nitratophiles. Leur présence est donc plutôt liée à la richesse du milieu en nitrates (Tableau 14).

Tableau 14 : Liste de végétation rudérale

Nom de l'espèce	Familles botaniques
<i>Melva aegyptiaca</i>	Malvaceae
<i>Phagnalon rupestre</i>	Compositae
<i>Eragrostis canadense</i>	"
<i>Nicotiana glauca</i>	Solanaceae
<i>Urtica urens</i>	Urticaceae
<i>Mercurialis alysson</i>	Labiatae
<i>Peganum harmala</i>	Zygophyllaceae
<i>Koeleria indica</i>	Chénopodiaceae

2.4.2. Ecosystème d'eau douce

La zone d'étude ne renferme pas d'écosystèmes d'eau douce (barrages, cours d'eau permanent et lacs).

2.4.3. Ecosystème marin

2.4.3.1. Introduction

Le tronçon des côtes de Sfax, considéré dans ce rapport, s'étend sur environ 25 km, et fait partie d'une entité maritime importante : le golfe de Gabès qui est considéré parmi les zones les plus touchées par la pollution et où la pêche est très importante.

La côte tunisienne offre une très grande homogénéité de structure depuis le Cap Bon jusqu'à la frontière tripolitaine. Les dépôts quaternaires récents recouvrent la grande majorité de la zone littorale pouvant atteindre et même dépasser 100 km au large (Gruvel, 1926).

Dans le golfe de Gabès, on se retrouve par conséquent devant une vaste surface d'abrasion marine datant du Pliocène et du Miocène mais souvent couverte par des formations marines ou continentales du Quaternaire récent (Castany, 1955 in Ben Othman, 1973).

Le relief sous marin du golfe de Gabès, reflète pratiquement le même paysage que celui de l'arrière pays (steppe et plaine). Poizat (1970) remarque dans le golfe de Gabès deux zones, à topographies différentes, séparées par un seuil Nord Ouest Sud Est (-25 m de profondeur) joignant Djerba à l'Archipel de Kneiss.

La partie Sud de ce seuil présente une topographie relativement compliquée avec la présence de dômes et de cuvettes. La partie Nord qui correspond pratiquement avec notre zone d'étude est caractérisée par un relief simple avec une pente relativement accentuée. Cette zone qui s'étend de Ras Kapoudia à la baie de Sur-Kneiss est bordée par des hauts fonds sablo-vaseux parcourus par des chenaux assez profonds.

Le littoral du golfe de Gabès est caractérisé au Nord par une côte basse bordée de bancs sableux. Aux abords de Sfax, il est marécageux. Au Sud de cette ville, la côte forme une baie dite des "Sur-Kneiss" qui est occupée par un vaste banc de vase. La côte ouest de cette baie est bordée de falaises rouges escarpées. Des sebkhas sont présentes dans cette zone côtière (Seurat, 1929 et 1934).

2.4.3.2. Sédimentologie et biocénose

Dans cette zone, le sédiment est en majeure partie constitué de sable avec une forte densité de végétaux. Cette structure s'étend des plages jusqu'à à peu près 20 m de profondeur. En certains endroits (Sud-Est de Manares et Sud de Kerkennah), des zones à graviers ou à concrétionnement d'algues calcaires sont distinguées dans cette étendue de sable.

Ben Otman (1973) remarque la succession sédimentologique suivante au niveau de la radiale passant par le parallèle 34° 30' :

- de -13 à -50 m, le fond est recouvert successivement de sable, de sable vaseux et de la vase sableuse
- de -50 à -80 m, il distingue la succession vase sableuse - sable vaseux - sable,
- de -80 à -200 m, le sédiment devient plus sablo - vaseux.

Au point de vue biocénose, au Nord-Est du seuil joignant Djerba à Kneiss, les peuplements vasicoles font totalement défaut du fait d'un hydrodynamisme vif, c'est une biocénose de sable détritique côtier (SDC) qui s'y établit. Les fonds lessivés (les chenaux, les oueds et les fonds exposés aux courants de marées) sont occupés par une biocénose de sables grossiers (SG) et fins graviers (SFG) (Poizat, 1970).

Il ressort de différentes études (Ktari-Chakroun et Azouz, 1971, De Gaillande, 1970, Perès et Picard, 1964) que le golfe de Gabès est caractérisé par certaines particularités à savoir:

- La granulométrie du sédiment au voisinage des herbiers est très fine, ceci du fait du rôle de piège à sédiment que jouent ces structures.
- Présence d'un phénomène d'envasement progressif de la zone prévu depuis 1954 par Moulinier et Picard et mis en évidence par divers auteurs depuis 1970.
- Présence d'une instabilité des facteurs édaphiques entretenue par un système de courants complexes et des conditions hydrodynamiques particulières. Cette agitation influe sur la nature des biocénoses; une fois loin des herbiers et des pelouses qui amortissent ces phénomènes, on dénote la présence d'un grand nombre d'espèces indicatrices de cette situation (fonds à ascidies, fonds à maéri, fonds à échinodermes...).
- Dans sa partie continentale, le golfe de Gabès est ceinturé par une zone littorale à topographie monotone (altitude partout inférieure à 200 m). Au Nord et au Sud-Est, cet ensemble est encadré par des reliefs plus accusés (entre 200 et 500 m) canalisant souvent du secteur Sud-Ouest le vent du désert (Simoum) très important dans l'équilibre dynamique et écobiologique du milieu.

2.4.3.3. Les paramètres physico-chimiques

La température de l'eau de surface

Les prospections menées au début du siècle ont révélé que la température des eaux de surface dans le golfe de Gabès est éminemment variable suivant les saisons, les latitudes et même les jours. Celle-ci varie dans le même sens que la température de l'air ambiant tout en restant la plus part du temps supérieure à cette dernière de 1,2 à 3°C en hiver et sensiblement inférieure pendant l'été. Amari (1984) note cet écart et remarque qu'il y a même un décalage de saison entre la mer et l'air; l'été en air correspond avec le printemps en mer.

D'après Ktari-Chakroun et Azouz (1971), la température moyenne de l'eau de mer dans le golfe de Gabès est de 13°C en hiver et 26°C en été.

L'analyse de données plus récentes de températures de surface, concernant deux périodes de 1982 à 1984 et de 1990 à 1994, prélevées par la SEREPT dans la région du golfe de Gabès (aux alentours du point de coordonnées 34° 15' N et 11° 25' E) (Figure 30), indiqueraient une tendance à l'élévation des moyennes en automne, hiver et printemps et à la baisse aux mois de l'été. Cette tendance a été retrouvée également dans les travaux de Bousnina (1995) concernant les températures moyennes à Sfax de 1900 à 1985. Cet auteur enregistre un réchauffement très significatif en automne, hiver et printemps et un rafraîchissement peu ou non significatif en été. La température de la surface de la mer varie dans le même sens que la température de l'air.

L'écart thermique entre le fond et la surface est faible; il n'atteint pas 1°C dans les premiers vingt mètres et dépasse rarement 1°C vers les grandes profondeurs. Au contraire, l'écart des températures de surface entre la côte et le large est assez important; Seurat (1925) remarque que le réchauffement diurne et le refroidissement nocturne sont très perceptibles surtout sur les petites profondeurs (hauts fonds et les plages basses telles que celles de Maharès et Kneiss). De même Brandhorst (1977) enregistre dans le golfe de Gabès des températures décroissantes de l'Ouest vers l'Est.

La salinité

L'étude de ce paramètre dans le plateau de Kerkennah menée par Amari (1984) a fait ressortir les constatations suivantes :

- Les salinités des eaux superficielles sont en général inférieures à celles des eaux du fond. Ceci à l'image de tout le golfe de Gabès; Gruvel (1926) remarque toutefois qu'elles ne commencent à augmenter qu'à partir de 50 m de profondeur.
- Il y a une certaine variation de la salinité au cours de la marée et pendant les saisons. Sarbegi (1991) a remarqué que la salinité est assez importante en mer (= 40) et ceci au large de la station d'épuration.

Au niveau de la radiale 34° 30' et entre les méridiens 10°40' et 11°50' Ben Othman (1973) remarque que les eaux côtières présentent du point de vue salinité une stratification qui s'oppose à l'homogénéité des eaux du large; il conclut que cette masse d'eau à salinité et à température homogènes consisterait en un diverticule du courant atlantique pénétrant en Méditerranée orientale. Cet auteur a relevé au niveau de cette radiale une salinité de 37,5 entre -13 et -50 m et 37,9 entre -50 et -200 m.

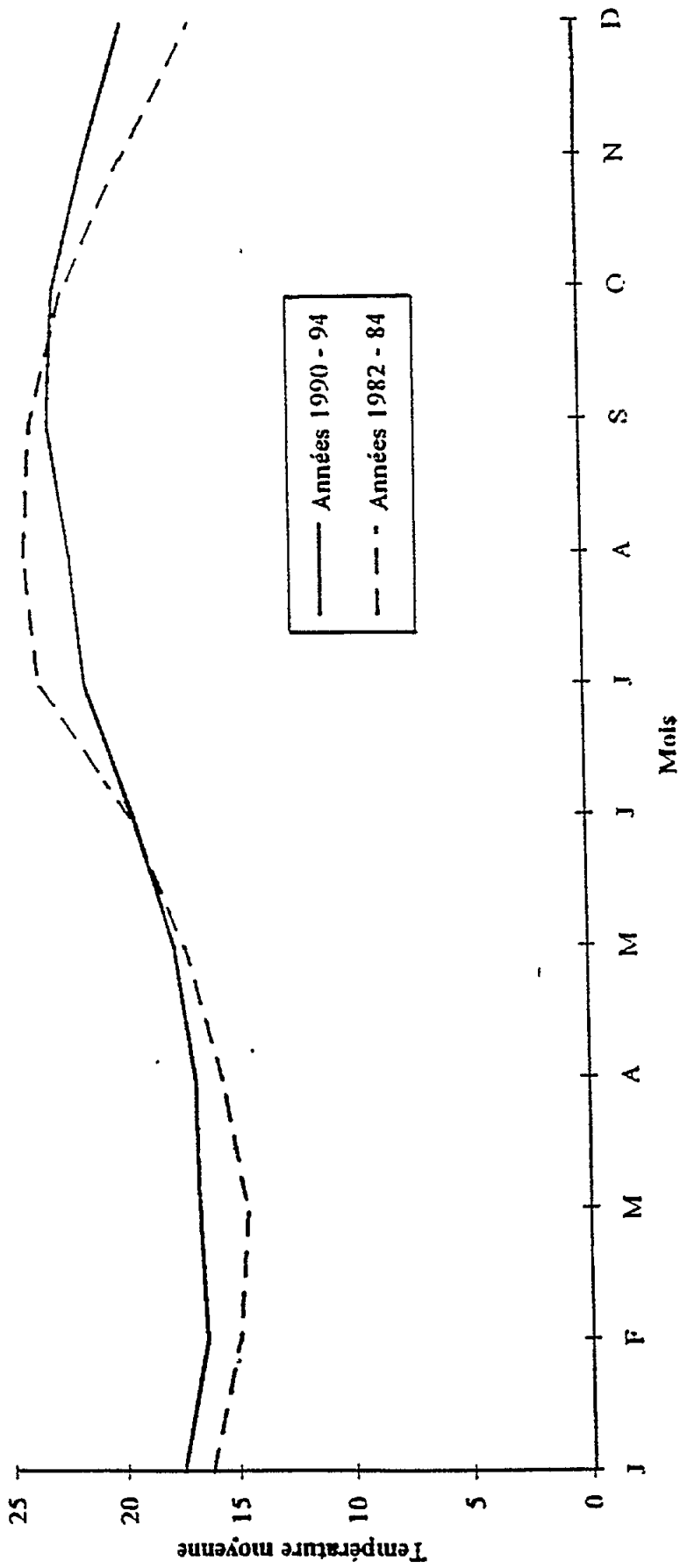


Figure 30 - Variations mensuelles de la température moyenne de l'eau de surface (à proximité d'Ashtart)

L'oxygène dissous

Les études relatives à la distribution de l'oxygène dissous dans l'eau de mer sont peu nombreuses. Amari (1984) présente quelques mesures de ce paramètre sur le littoral nord de Sfax. Il remarque par ailleurs que les valeurs enregistrées le jour sont supérieures à celles enregistrées la nuit (7,35 ml.l⁻¹ le jour et 7,2 ml.l⁻¹ la nuit). Ces variations diurnes sont attribuées généralement à l'activité photosynthétique des herbiers à phanérogames. Sarbegi (1991) a remarqué qu'au voisinage des zones de rejet de la SIAPE-ONAS (Sud de Sfax), les teneurs en oxygène dissous marquent une faible variation. Elles affichent ces valeurs de l'ordre de 6 à 7 ml.l⁻¹. Le seuil de saturation est fonction de la température; généralement: une augmentation de la température entraîne une baisse dans le taux d'oxygène dissous.

La turbidité

D'après Amari (1984), sur les hauts fonds de Kerkennah, la concentration des matières en suspension (M.E.S.) est en général faible; elle est en moyenne de 1 à 30 mg.l⁻¹. Elle dépend essentiellement des courants de marées dans les chenaux et de l'agitation due aux houles dans les petites profondeurs. De ce fait la turbidité est faible au printemps et en été, assez élevée en automne et élevée en hiver, saisons où les houles fortes remettent en permanence la matière en suspension.

Dans certaines régions du golfe de Gabès, le taux de pénétration de la lumière s'est réduit actuellement, dans le meilleur des cas, aux premiers dix mètres (Zaouali, 1993). Les rejets de phosphogypse et le remuement continu du fond de la mer, sous l'action du chalutage benthique, sont en grande partie à l'origine de cette turbidité.

2.4.3.4. Les conditions océanographiques

La marée

Le golfe de Gabès est le siège d'une marée semi-diurne. Son amplitude est maximale au fond du golfe (maximum de 2 m en vives eaux) et décroît sur sa périphérie. Les marées observées au port de Sfax présentent les dénivellations moyennes suivantes par rapport au zéro hydrographique :

- Pleine mer de vive eau : + 1,60 m;
- Basse mer de vive eau : + 0,30 m;
- Pleine mer de morte eau : + 1,10 m;
- Basse mer de morte eau : + 0,70 m.

A ces marées, il convient d'ajouter les dénivellations dues à l'action des vents et aux variations pressiométriques.

De ces variations du niveau de la mer, va dépendre l'importance du développement de l'estran qui est également en rapport avec la pente des plages. Des estrans assez importants se développant sur plusieurs centaines de mètres existent dans la région; nous citons les salines de Sfax, l'estran de Maharès.

L'étendue de ces estrans est très intéressante au point de vue population faunistique et floristique ainsi que de point de vue exploitation économique. Généralement une faune fousseuse et filtreuse se développe dans ces zones. Les végétaux facilement détachables et résistants à un fort éclaircissement et un hydrodynamisme assez important colonisent facilement ces surfaces.

Du point de vue économique, l'importance de l'amplitude des marées et l'étendu de l'estran sur le littoral de Sfax ont favorisé une activité de pêche très artisanale; les pêcheries fixes tels que les "zroubs" (une espèce de piège à poissons fixe fait de feuilles de palmier) et les "chrafis" (pièges à poulpes attachés à une ligne de fond) et la pêche à pied pour la collecte des palourdes *Ruditapes decussatus* (Lamellibranche très demandé sur le marché international) sont très répandues dans la zone. Par ailleurs, ce phénomène de marée a été exploité pour l'extraction du sel dans les salines de Sfax dont les bassins s'étendent sur environ 14 km et ceci du port de pêche de Sfax jusqu'à Thyna.

Les vents et les courants

Dans le sud tunisien, le régime des vents est relativement régulier. En hiver, ce sont les vents d'Ouest qui sont dominants et en été c'est le vent d'Est qui prend la relève. Les vitesses des vents les plus fréquents sont de 2 à 4 m.s⁻¹ généralement. Les vents de plus de 9 m.s⁻¹ sont rares. Un vent du Sud ou Sud - Ouest extrêmement chaud et sec peut se manifester à certains moment de l'été. Lorsqu'il est suffisamment violent, il soulève des nuages de poussières fines qui ont un grand impact dans l'hydrocynamisme du golfe de Gabès (Poizat, 1970).

Concernant la courantologie, il est à remarquer que le courant qui arrive au Sud de Ras Kapoudia rencontre les hauts fonds de Kerkennah et se bifurque en deux. Une partie fait en quelque sorte un ricocnet sur le banc et se tourne vers la côte qu'il aborde à la hauteur de Sfax. L'autre partie, la plus importante, continue vers le golfe de Gabès. A la hauteur de Djerba, une branche pénètre par le canal d'Ajim dans la mer Boughrara tandis que sa partie occidentale vient se briser sur la côte et forme un contre courant qui remonte le long du rivage quoique faiblement jusqu'à vers Gabès (Figure 31).

Les courants de marée sont très importants dans la zone mais ils sont irréguliers; ils peuvent être masqués et même contrariés par les vents dominants créant parfois des contre-courants assez violents. Dans le secteur Sfax - Maharès, ces courants sont presque parallèles à la côte.

En général les courants de marée et les courants côtiers sont importants pour tout ce qui est transport littoral et dispersion des polluants.

Le courant atlantique qui pénètre par le détroit de Gibraltar longe les côtes nord de la Tunisie, il perd de son influence au niveau du golfe de Gabès en s'éloignant des côtes vers le Sud - Est. Toutefois, Ben Othman (1973) détecta une diverticule de ce courant atlantique au niveau du golfe de Gabès.

La houle et les vagues

Aman (1984) a montré, que sous l'action des vents locaux et ceux du large, la houle est assez instable dans cette région, mais les courants qu'elle induit sont 2 à 5 fois plus forts que les courants de marée. De ce fait elle y joue un rôle important dans le transit sédimentaire. Il est à noter que les houles les plus fortes sont celles du large et elles sont liées à des systèmes dépressionnaires globaux.

Les houles et surtout celles du large s'amortissent énormément en face de Sfax en raison des faibles profondeurs et des fonds à pente douce. Elles sont également freinées par les herbiers assez bien développés.

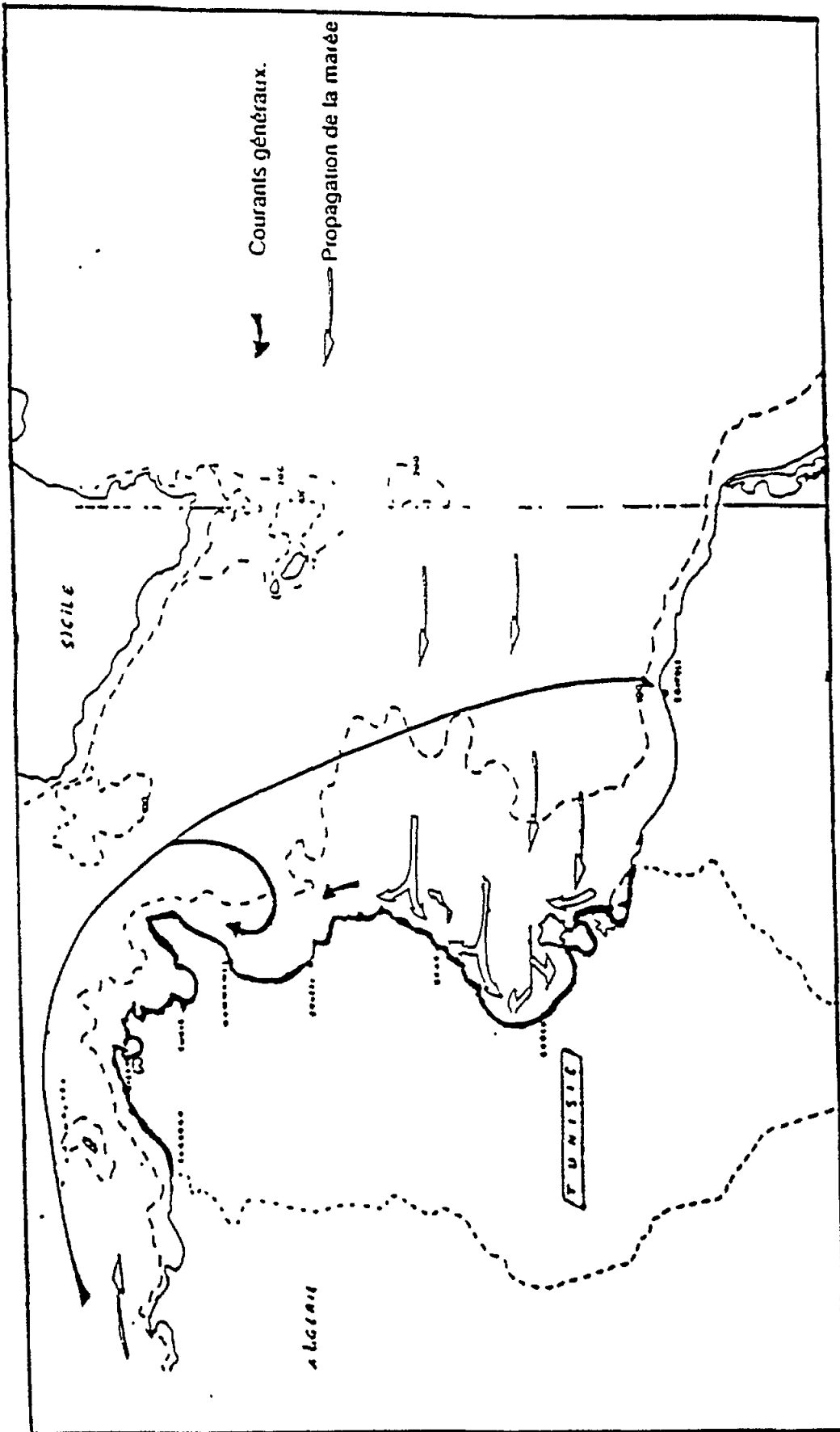


Figure 31 - Schéma des courants généraux et propagation de la marée (d'après les instructions nautiques)

2.4.3.5. Le cadre bioécologique

Le couvert végétal

Le profil végétal dans le golfe de Gabès est marqué par la succession et l'alternance d'herbiers les plus caractéristiques de la Méditerranée.

Au niveau de l'étage médiolittoral (zone de balancement des marées), le phytobenthos est très peu varié. Il est marqué par l'abondance de certaines algues vertes (Ulve, Entéromorphes, Valonia...) qui constituent même des phénomènes spectaculaires (marées vertes) surtout sur les rivages Nord de Sfax (Hamza *et al.*, 1995). Dans les zones plus ou moins rocheuses et abritées (Kerkennah et Kneiss) on rencontre des Cyanophycées (*Lyngbya*) et des algues rouges (*Laurencia obtusa*). Dans cet étage, des tapis à zostères sont aussi observés; ceux-ci chevauchent parfois le cordon à Cymodocée annonçant l'apparition des prairies de ce phanérogame et de l'infralittoral supérieur. Les prairies de Cymodocées se présentent généralement vers 1,5 m de profondeur (environ 600 m du rivage) et colonisent le littoral sous forme de bandes continues jusqu'à 3 à 4 m. Au delà de cette profondeur prennent naissance les prairies de posidonie.

De part et d'autre de la ville de Sfax, aux alentours des îles Kerkennah et au niveau des Kneiss, le tapis posidonie se caractérise par des structures et des recouvrements spécifiques. Les limites d'extension, souvent régressives et varient d'un lieu à un autre (Ben Mustapha et Hattour, 1992).

En allant des rivages de Sfax - Sidi Mansour à ceux de Kerkennah, les prairies de posidonies commencent à se manifester vers les profondeurs de 4 m. Cet herbier de type III (densité foliaire 300 à 400 faisceaux.m²) est de forme tigrée récifale et souvent en cordon. A la hauteur des canaux d'Ellouza et surtout de celui de Sfax, cet herbier se dégrade et il n'est plus représenté que par des mattes mortes envasées souvent colonisées par de nombreux chlorophycées (*Caulerpa prolifera*, *Codium bursa* et *Valonia macrophysa*) et par quelques algues brunes. Dans la zone sablo-vaseuse qui fait suite, subsistent quelques îlots de posidonies. Ceux-ci sont entourés par des dépressions envasées où viennent s'accumuler les feuilles mortes formant ainsi des fonds "pourris" propices au développement de certains crustacés (*Penaeus kerathurus* et *Squilla mantis*).

Dépasant ce canal, les prairies de posidonies reprennent leur morphologie et leur extension jusqu'à une limite de profondeur du côté des îles Kerkennah pour céder la place par la suite à un herbier de Cymodocée qui continue vers le rivage atteignant ainsi les petites profondeurs. Des caulerpes à frondes courtes et de couleur verte éclatante s'entremêlent parfois à ces Cymodocées et constituent même dans certains endroits des pelouses remarquables.

Au Sud de Sfax et jusqu'à Maharès, l'herbier de posidonie est en très bon état. Il est toujours de type III de structure tigrée et en marmites sur les faibles profondeurs (1,5 à 3 mètres) et en herbier continu à partir de 5 jusqu'à 10 m. Des récifs frangeants se manifestent aussi à ce niveau sur les hauts fonds. Au Sud-Est des Kneiss à une profondeur de 10 m, l'herbier devient complètement dégradé. Vers la Skhira, l'herbier est de type II dans les faibles profondeurs et présente l'aspect d'une limite régressive de type III à partir de 5 m où ces prairies deviennent très envasées.

Malgré le bon état relatif de l'herbier des posidonies dans cette partie nord de la petite Syrte, ces formations sont dotées de structures très sensibles (tigrées, en cordons et frangeantes) et sont des structures très vulnérables aux altérations anthropiques. Elles ont été classées de par la Méditerranée comme paysages à préserver.

Molinier et Picard (1954) dégagent quelques spécificités particulières pour ces herbiers reliées aux conditions écologiques et climatiques du golfe de Gabès. La croissance verticale de la matte de ces espèces est souvent stoppée à quelques mètres de la surface par suite du trop fort réchauffement estival. Ces conditions particulières influent aussi sur la morphologie de la plante; les herbiers présentent un rétrécissement dans leur partie terminale et sont dits en forme de pains de sucre tronqués au sommet.

Ces conditions climatiques semblent aussi favoriser la multiplication sexuée au dépens de la reproduction végétative qui permet une plus rapide extension de l'espèce. La multiplication sexuée qui s'est éclipcée depuis des décennies est réapparue en 1993 (Hamza et Bradai, 1994).

Il est à noter que chaque fois que la matte de la posidonie était altérée par les arts traînants où autres, les chlorophycées colonisaient la place. Actuellement les pelouses à *Caulerpa prolifera* qui succédaient aux herbiers et qui s'étendaient jusqu'à -40 m se sont aussi éclipcées de différents points du golfe de Gabès. A partir de la zone sud de Mahares, il ne subsiste plus que quelques îlots à la limite des mattes de posidonies.

Au delà des pelouses à caulerpes et jusqu'aux profondeurs sciaphiles, apparaissent des fonds à algues rouges (*Vidalia volubilis* et *Rhytophlea*) et des algues rouges calcaires (fonds à maéri).

Toutefois, il est à noter que l'envasement (naturel ou anthropique), la turbidité, la régression des herbiers et l'enrichissement du milieu en sels nutritifs ont entraîné un déséquilibre écologique. En effet, plusieurs phénomènes ont été favorisés: nous citons entre autre les marées vertes, les eaux colorées et l'incursion de nouvelles espèces non endémiques à la zone.

Les marées vertes

La prolifération et l'accumulation massive des macroalgues vertes est un phénomène coutumier et spectaculaire de certaines plages du littoral de Sfax. Plusieurs facteurs régissent cette prolifération algale ou marée verte :

- les mouvements hydrodynamiques et surtout la marée qui assure le transport et l'accumulation des algues sur le littoral ainsi que l'oxygénation en permanence de ces biomasses;
- la faible déclivité et l'immensité des plages;
- la richesse du milieu en composés organiques donnant ainsi aux algues vertes des sources potentielles pour leur développement;
- le fort ensoleillement et les grandes températures.

Sur les côtes nord de Sfax, ce phénomène était causé essentiellement par l'échouage d'une algue verte *Ulva rigida* surtout au printemps. Depuis 3 à 4 ans, le phénomène s'est diversifié et de nouvelles marées à *Valonia* et *Chaetomorpha* sont apparues. Ces marées vertes sont perceptibles toute l'année.

Les biomasses maximales des *Ulves* sont enregistrées lors des périodes d'éclairement maximum, alors que celles des *Valonia* paraissent être conditionnées par les concentrations en nutriments et se situent de ce fait en automne, période pendant laquelle les apports terrigènes et la dégradation des algues et phanérogames échouées sur les rivages sont importants (Hamza et al., 1995).

Le phytoplancton et les blooms phytoplanctoniques

De nombreuses études ont noté la richesse des côtes du golfe de Gabès en microalgues; l'abondance d'espèces commensales de ces organismes qui témoignent de telles situations (ex. : éponges, ascidies, palourdes...).

Par ailleurs, une cartographie par télédétection, de la répartition de la chlorophylle dans le bassin méditerranéen (1979 - 1985) révèle la particularité et la richesse des eaux en phytoplancton dans cette zone. Les faibles profondeurs et l'importance des herbiers dans ce milieu semblent être à l'origine de cette eutrophie.

Les blooms phytoplanctoniques connus généralement dans les milieux lagunaires et fermés ont gagné la mer cette dernière décennie. Depuis 1988, ce phénomène est devenu perceptible chaque été dans le golfe de Gabès. En cette période de l'année, ce golfe est similaire à un milieu fermé; ses eaux deviennent presque immobiles et subissent une intense évaporation sous l'effet d'un fort ensoleillement.

L'essor industriel de sa frange côtière et la dégradation de ses herbiers ont augmenté la charge organique du milieu condition favorable à la prolifération et à la manifestation de telles masses phytoplanctoniques

Les efflorescences à Cyanophycée, suivies de 1988 à 1993, étaient essentiellement régies par les paramètres climatiques (température et vents) en présence d'une forte charge en phosphates largués directement dans la mer par l'ICM (Industrie Chimique Maghrébine) et véhiculés par une courantomologie assez complexe (Hamza et El Abed, sous presse).

Les apparitions des eaux colorées toxiques (à Dinoflagellés) pendant l'année 1994 en plusieurs points du golfe de Gabès (Sfax, Kerkennah, Skhira et Boughrara) sont probablement conditionnées par des caractéristiques spécifiques de chaque région. Le phytoplancton toxique était en effet du point de vue diversité différent d'une zone à l'autre.

Sur le littoral sfaxien, l'été et l'automne 1994 ont été marqués par l'apparition des eaux colorées à dinoflagellés icthyotoxiques.

Les invertébrés marins

Le benthos de la région nord est plus riche et plus varié que celui de la région sud-est. Cette richesse est en grande partie expliquée par la nature des fonds (rocheux) qui protège les biocénoses et par l'hydrologie qui joue certainement un rôle important dans la région nord du pays (zone de mélange d'eaux atlantiques et méditerranéennes). Au Sud, en plus de la surexploitation des fonds, ces caractéristiques font défaut.

La bionomie benthique du Sud tunisien est caractérisée par l'abondance relative de certains invertébrés tels que le bivalve *Pinctada radiata*, les échinodermes *Paracentrotus lividus*, *Ophiomyxa pentagona*, *Antedon mediterranea* et *Dorocidaris papillata*, le polychète errant *Hyalonoecia tubicola*, les ascidies *Ascidia mentula*, *Phallusia mammulata* et les éponges *Euspongia officinalis* et *Hippospongia communis* (Ben Othman, 1973). Bonnet (1980) constate que certaines espèces de valeur commerciale trouvent au large du golfe de Gabès un terrain favorable de développement inhabituel; cette constatation est probablement en étroite relation avec certaines affinités tropicales du milieu.

Dans notre zone d'étude et plus précisément au niveau de Maharès, Seurat (1934) décrit les caractéristiques faunistiques de l'étagage intertidal comme suit :

- l'horizon supérieur est habité par les crustacées *Orchestia gammarella* et *Coelostoma hispanicum*;

- dans l'horizon moyen, à sédiment vaseux ou parsemé de cailloux surtout au voisinage de Mahares, se développent des populations de scérômes (*Sphaeroma serratum* et *S. ehippium*) et de *Nereis diversicolor*;
- l'horizon inférieur est caractérisé par l'appartenance des Cymodocées où vivent généralement *Mesopodopsis slabberi* et *Garcinus aesterai*, des syngnathidés, le cyprinodon rubané (*Aphanius fasciatus*) et des blennies.

Plus au Sud, du côté d'oued El Maltine, les plages sont plus vaseuses. Dans l'horizon inférieur, on rencontre des prairies de zostères et de cymodocées colonisées par des annélides (*Perinereis cultrifera*), des spheromes (*Sphaeroma marginatum* et *Cymodoce spinosa*), des Mollusques (*Cerastoderma glaucum*, *Centhium hornidulum*, *Murex trunculus*, *Tapes elongatus*, *Lauripes lucineus*, *Neventa josephina* et *Solen marginatus*).

Selon la radiale passant par Maharès (34° 30'), Ben Othman (1973) relève les caractéristiques bionomiques suivantes:

- Sur les fonds de -16 à -18 m, la pintadine *Pinctada radiata* est très abondante. On y trouve également mais en moindre quantité, *Centhium vulgatum*, *Paracentrotus lividus* et *Holothuria tubulosa*. Sur le haut fond de -5 m, il n'y a pas de pintadine, mais surtout *Holothuria tubulosa* et *Pagurestes oculatus*. Plus profondément de -20 à -40 m, *Pinctada radiata* fut retrouvée; cependant, à partir de -25 m, elle devient moins abondante pour être remplacée quantitativement, à -40 m, par *Ophiomyxa pentagona* qui est déjà présente dès -5 m. Cette ophiure est capturée abondamment jusqu'à -68 m devient ensuite plus rare et disparaît à -75 m. A partir de cette profondeur on trouve particulièrement *Dorocidaris papillata* jusqu'à -104 m de profondeur.
- Les invertébrés à importance commerciale rencontrés en abondance dans la région sont les crevettes (crustacés), les seiche, poulpe et palourde (mollusques) et les éponges.

La crevette caramote (*Penaeus kerathurus*)

Au large des côtes du gouvernorat de Sfax, la crevette se trouve répartie sur tous les fonds, de la limite inférieure des prairies de Cymodoce (pêchée par le Kiss aux côtes nord de Sfax) jusqu'aux hauts fonds de Kerkennah à des profondeurs de 52 m. Les zones où se trouvent les quantités importantes de crevettes dans cette région sont celles des bouées et les fosses de Skhira et Chaffar. Au large de Thyna, la crevette caramote est assez abondante.

Au large de notre zone d'étude, les rendements horaires en crevettes pêchées au chalut expérimental en 1987 et 1988 varient de 12,5 à 27 kg : 18,8 kg à Sidi Hmed (-25 m), 12,5 kg dans la zone des bouées (-29 m), 13,3 kg à Thyna (-15 m) et 27 kg à Oued El Gzez (-12 à -19 m).

La taille des crevettes augmente avec la profondeur: les crevettes débarquées par les barques côtières travaillant au kiss sur les herbiers sont de très petite taille. Il est à signaler par ailleurs que le profil d'exploitation de cette espèce ne suscite pas de grande inquiétude comme c'est le cas pour les poissons (Ben Mariem et Gharbi, 1988).

Les spongiaires

Les éponges commerciales se rencontrent exclusivement dans la partie orientale de la Tunisie depuis la hauteur de Mahdia jusqu'à la frontière tuniso-libyenne sur des fonds formés de sable grossier plus ou moins vaseux recouvert d'herbiers de zostère et de posidonie (Le Danois, 1925 et Gruvel, 1926). La Tunisie (par ces côtes sud) était le premier pays producteur d'éponges commerciales jusqu'à 1985. La production qui était importante à la fin du XIX^{ème} siècle et au début du XX^{ème} siècle (de 150 à 180 tonnes) connaît actuellement des difficultés (surexploitation et maladies); la production enregistrée en 1993 était de 16 tonnes.

Les mollusques

La palourde *Ruditapes decussatus* vit sur des fonds de sables, sables et graviers vaseux ou vases compactes de l'étage médio et infralittoral et des lagunes côtières; c'est une espèce souvent indicatrice de milieux pollués. Cette espèce très abondante, au niveau des estrans de Sfax, est pêchée à pied à l'aide d'une focille (sorte de râteau à long manche) à Ellouza, à El Awabed, à Sidi Mansour, près de l'ancienne usine NPK (à côté des déversements de phosphogypse), près du port de Sfax, près des salines de Sfax et à Gargour.

Le golfe de Gabès est connu par sa richesse en céphalopodes. Le poulpe et la seiche, espèces strictement côtières sont les mieux représentées (Najai, 1983). Les rendements de pêche optimums de la seiche sont enregistrés essentiellement au printemps sur les fonds vaseux de 15 à 25 mètres de profondeur (Najai, 1983). La campagne des poulpes se situe du 1er novembre au 15 mai.

Les vertébrés marins

Environ 270 espèces de poissons sont recensés dans les eaux tunisiennes, 230 espèces au Nord et 210 au Sud.

Les mammifères marins signalés au Sud sont le rorqual commun *Balaenoptera physalus*, le mégaptere *Megaptera novaengliae*. pour les dauphins se sont surtout les *Tursiops truncatus* et les *Stenella coeruleoalba* qui sont les plus représentés. Ils entrent en concurrence avec les pêcheurs, déchirent leurs filets et consomment les captures. Un générateur de sons mécaniques a été mis au point par l'INSTOP pour faire fuir cet animal de la zone des pêches.

Les tortues marines espèces dont les populations sont en danger, fréquentent le golfe de Gabès. La plus commune est la caouane *Caretta caretta* (environ 10 000 captures et recaptures par an (Bradai, 1995)), la tortue luth *Dermochelys coriacea* est observée 3 à 4 fois par an, la tortue verte *Chelonia mydas* est rarement observée. Ces tortues sont protégées par des conventions internationales et une législation nationale.

La zone d'étude et principalement la zone humide de Thyna constitue une zone de nidification pour de nombreuses espèces d'oiseaux de mer (goelands railleurs, *Larus genei*; avocettes, *Recurvirostra avosetta*; sternes naines, *Sterna albifrons*; sternes Hansel, *Sterna (Gelocheidon) nilotica*; sternes Pierregann, *Sterna hirundo*; gravelots à collier interrompu, *Charadrius alexandrinus*; échasses blanches, *Himantopus himantopus*; aigrettes garzettes, *Egretta garzetta*; tadornes de Belon, *Tadorna tadorna*; chevaliers gambettes, *Tringa totanus*; etc.); en mai 1994, 3600 couples nicheurs ont été observés. Le nombre d'oiseaux observés à Thyna est en constante évolution passant de 5000 unités au printemps 1976 à près de 15 000 au printemps 1992 et à 42 000 en hiver 1994 (Chaker et al., 1994).

Modifications faunistiques et floristiques dans la zone d'étude

La Méditerranée est caractérisée par une grande diversité spécifique (aussi bien d'origine que taxonomique) et une certaine pauvreté globale en nombre et en masse. Cette mer connaît à la fin du XIXème siècle et au cours du XXème siècle des modifications faunistiques importantes suite à plusieurs perturbations morphologiques, écologiques et physico-chimiques (ouverture du canal de Suez, domestication des eaux fluviales, surpêche, pollution, activité maritime et aménagement du littoral).

Le golfe de Gabès et les côtes de Sfax subissent les conséquences de toutes ces perturbations et des modifications faunistiques y sont apparues.

Depuis l'ouverture du canal de Suez, plusieurs espèces indo-pacifiques ont été signalées dans le golfe de Gabès. Des 1882, 13 ans après l'ouverture de ce canal, le bivalve *Pinctada*

radiata a conquis le golfe de Gabès où il s'est bien acclimaté; c'est le cas également du poisson *Stephanolepis diaspros*. Les sigans *Siganus rivulatus* et *S. luridus*, ont été observés dans la région de Sfax depuis 1974 (Ktari et Ktari, 1974). La deuxième espèce de sigan a été fréquemment observé, un spécimen mature fut également trouvé (Bradaï *et al.*, 1994). Nous citons encore le crustacé *Alpheus crassimanus* signalé dans la région de Sfax depuis 1956 (Forest et Guinot, 1956), le crabe *Eucreta crenata* qui a émigré de façon très récente dans le golfe de Gabès, probablement autour des années 1985 (Zaouali, 1992), plus récemment encore une nouvelle crevette d'origine lessepsienne y a été signalée, il s'agit de *Trachypenaeus curvirostris* (Zaouali, 1993).

Par ailleurs, le compère *Spheroides cutaneus*, poisson tétradontidé a été observé au large de Sfax. Ce poisson, considéré comme typique de la faune tropicale et subtropicale et essentiellement de l'Afrique de l'Ouest, a vu, en effet, son aire de répartition habituelle s'élargir à d'autres zones y compris la Méditerranée et le golfe de Gabès (Bradaï *et al.* 1993).

Cette acclimatation est en partie favorisée pour quelques espèces par l'envasement progressif qui règne dans le golfe de Gabès (cas du crabe *Eucreta crenata* et la crevette *Trachypenaeus curvirostris*). Cet envasement a favorisé également l'expansion de certaines espèces autochtones tels que la crevette camarote ou royale *Penaeus kerathurus*, le bivalve *Aloides gibba* et l'algue verte *Caulerpa prolifera*. Pour d'autres espèces tels que *Spheroides cutaneus*, c'est le réchauffement global qui serait à l'origine de cette immigration.

Par ailleurs et pour les végétaux, nous signalons l'expansion actuelle de la caulerpe *Caulerpa racemosa* au large de Sfax (Hamza *et al.*, 1995), espèce tropicale signalée dans les eaux tunisiennes depuis 1926 (Hamel, 1926).

2.5. Les écosystèmes aménagés

2.5.1. Agriculture

Outre les secteurs secondaire et tertiaire, la ville de Sfax est également considérée pour l'importance du secteur primaire, en occurrence le secteur agricole. On cite à juste titre l'importance de l'oléiveraie de Sfax par rapport au reste des oliveraies du pays, et ce tant sur le plan du nombre des pieds que de la production d'huile. Pour faire face à l'accroissement démographique que connaît la région, l'état n'a cessé d'encourager la production agricole pour subvenir aux besoins des populations. Toutefois les caractéristiques climatiques de la région et en particulier la pluviosité annuelle imposent une diversité des systèmes de production. C'est ainsi que la production en sec et la production en irrigué, constituent le principal activité agricole au sein la zone concernée par cette étude.

2.5.1.1. Agriculture en sec

Il s'agit du mode de production le plus rencontré dans le secteur étudié (Planches 4 & 5, pages 154 et 155). Cette production est essentiellement basée sur l'oléiculture. La variété la plus couramment utilisée est le *Chemlali*. La plupart des plantations sont localisées sur le sol léger, ou sol isohumique subtropical, brun encroûté, formation pédologique bien représentée géographiquement dans cette zone. En plus de l'oléiculture, on trouve d'autres spéculations à base surtout d'espèces fruitières. L'amandier demeure l'espèce fruitière la plus abondante aux alentours de la ville de Sfax. Parmi les variétés les plus caractéristiques de cette espèce, on trouve les variétés *Achak* et *Zahaf*.

L'abricotier est également une espèce commune à la région, avec essentiellement les variétés *Bedri*, *Fourati*, *Meslmani*, qui sont bien adaptées aux particularités édapho-climatiques de la zone.

Les haies des clôtures protégeant les jardins du grand Sfax, sont constituées par des plantations d' *Opuntia ficus-indica* (Cactus ou Figuier de Barbarie), espèce réputée par sa grande tolérance à la sécheresse.

Enfin, d'autres espèces fruitières cultivées en sec, existent dans la zone, mais avec une moindre importance que celles précédemment signalées. Parmi elles, on cite le Figuier, la Vigne, le Pêcher, le Grenadier, le Poirier, le Pommier, comme étant des espèces caractéristiques des vergers de Sfax.

Toutes ces espèces bien qu'elles soient cultivées, se caractérisent par une certaine plasticité génotypique telle qu'elles peuvent résister à un changement climatique avec faible accroissement de température. Leurs exigences en heures annuelles de froid, sont moins élevées que celles des variétés inféodées aux zones septentrionales du pays.

2.5.1.2. Agriculture en irrigué

Outre l'agriculture en sec, la zone d'étude renferme quelques périmètres irrigués, en particulier dans son secteur Sud-Ouest. Ces périmètres dont la superficie n'est pas très grande (quelques dizaines d'hectares) sont créés suite à des puits de surface. Les cultures pratiquées sont surtout légumières (légumes feuilles), maraîchères (Pomme de terre, Oignon, Piment, Cucurbitacées, etc...) et fourragères (Orge en vert, Avoine, Sorgho fourrager). On assiste également au développement de la serriculture dans la zone, ce qui permet d'alimenter le marché de la ville en produits de primeurs.

Contrairement aux autres spéculations, les cultures sous serres bien qu'elles soient irriguées, sont sensibles aux accroissements thermiques. Cette sensibilité est proportionnelle à l'ampleur de l'accroissement de la température et se traduit par une baisse incontestable de la productivité si la variation de la température excède 2,5°C.

2.5.2. La pêche

2.5.2.1. Introduction

Le gouvernorat de Sfax occupe une position stratégique dans le secteur de la pêche maritime en Tunisie. Il couvre à lui seul environ 30 pour cent de la production halieutique nationale.

La facilité d'accès aux zones de pêche (plateau continental vaste à pente douce et sans accidents rocheux), l'abondance de crustacés (crevette caramote ou royale) et céphalopodes (poulpes et seiches), espèces à haute valeur commerciale parce que destinées à l'exportation, et l'importance des services portuaires ont permis à cette zone d'être la plus fréquentée par les barques de pêche maritime tunisienne.

L'incursion clandestine des chalutiers dans la zone réservée à la pêche côtière (en deçà de 50 m de profondeur) défavorise ce type de pêche et engendre des dégâts pour le milieu marin. Mais d'autres engins côtiers et principalement l'utilisation du mini-chalut (appelé communément "kiss") sur les herbiers de posidonie engendrent également des dégâts énormes sur la flore et la faune marines et contribuent à l'effondrement des stocks halieutiques observé actuellement dans la région du golfe de Gabès.

La pêche dans la région du golfe de Gabès est qualifiée d'anarchique (utilisation d'engins destructeurs, non respect des maillages réglementaires et des zones interdites à certaines catégories d'unités de pêche et l'augmentation irrationnelle de l'effort de pêche).

A ces problèmes relatifs à la pêche, les effets de la pollution sont certainement alarmant. Le problème numéro 1 réside dans les rejets de phosphogypse (plus de 60 millions de tonnes ont été rejetés de 1972 à l'heure actuelle).

L'étude de l'activité de la pêche dans la région de Sfax entraîne obligatoirement celle de tout le golfe. Des interactions de tout genre existent effectivement entre les différents ports. Le gouvernorat de Sfax occupe une position stratégique dans cette "entité maritime" surtout par l'importance des infrastructures portuaires et les installations à terre.

2.5.2.2. La production

La production nationale des produits de la mer a atteint 83 779 tonnes en 1993 contre 88 551 tonnes pour l'année 1992 accusant ainsi une diminution de 5,38 pour cent. D'ailleurs la tendance à la baisse a été constatée depuis 1988 (102 574 tonnes).

Les trois principaux types de pêche sont la pêche côtière, la pêche au feu et à la petite senne et la pêche au chalut benthique (Tableau 15). Ces types de pêche représentent respectivement 43,1 pour cent, 31,2 pour cent et 20,6 pour cent de la production nationale.

On rassemble dans la rubrique pêche côtière ou artisanale essentiellement la pêche aux filets, aux hameçons et aux pièges.

Tableau 15 : Production halieutique par type de pêche en 1993 (DGPA).

Types de pêche	Production
Pêche côtière	36 071
Chalutage benthique	17 272
Chalutage pélagique	505
Feux et petites sennes	25 283
Lacs et aquaculture	1 579
Coquillages	1 742
Thon	1 310
Eponge	16
Corail	1
Total	83 779

L'essentiel de la production soit environ 60 pour cent est débarqué dans les ports de pêche du Sud-Est du pays correspondant sensu lato au golfe de Gabès (Tableau 16). L'essentiel des espèces nobles destinées à l'exportation provient de la région du golfe de Gabès (95,5 pour cent des crevettes; 89 pour cent des céphalopodes; 66 pour cent des thonidés et 97 pour cent des éponges). Environ 51 pour cent de la production du golfe de Gabès est réalisé dans la région de Sfax (Tableau 16).

Parmi les principales espèces pêchées sur les côtes de Sfax et destinées à l'exportation, nous citons les crevettes qui représentent une production de 1 751 tonnes (2 875 t à l'échelle nationale), les poulpes 2 714 t (4 610 t pour toute la Tunisie) et les seiches avec une production de 5 771 t sur 8.149 tonnes pêchées en Tunisie.

Tableau 16 : Production en tonnes par délégation maritime en 1994 (DGPA, 1993)

Délégations	Production	Délégations	Production
Jendouba	1 227	Monastir	3 556
Bizerte	5 788	Mahdia	14 307
Tunis	1 414	Sfax	24 673
Nabeul	8 793	Gabès	10 676
Sousse	5 365	Medenine	12 752

La répartition de la production halieutique dans la région de Sfax est consigné dans le tableau 17.

Tableau 17 : Production de la pêche dans la délégation de Sfax

Désignation	1992		1993	
	Q (kg)	V (D)	Q (kg)	V (D)
Pêche côtière par port:				
Sfax	4 608 156	10 931 478	3 086 481	6 453 921
Kerkennah	2 054 574	5 166 043	1 165 754	2 313 672
Ellouza	3 136 851	7 447 183	2 681 528	5 203 306
Ei Awabed	708 168	1 261 713	1 130 264	2 176 722
Sidi Mansour	1 002 165	2 223 863	1 063 296	1 627 447
Maharès	3 048 703	5 308 852	2 712 487	5 060 243
Skhira	1 534 540	5 481 381	1 548 639	4 285 769
Pêche au chalut	7 546 500	19 881 401	8 890 679	22 521 135
Feu et petite senne	28 750	10 063	1 795 498	1 861 592
Palourde	642 110	1 376 627	632 488	1 303 643
Thon	354 018	772 133	316 056	1 140 925
Eponge	8 900	581 500	10 210	495 800
Total général	24 673 035	60 449 237	25 033 380	54 444 175

2.5.2.3. La flottille de pêche

La flottille active de la Tunisie comportait en 1993, 14 851 unités de pêches dont 9 150 soit 63 pour cent étaient rattachés aux ports du golfe du Gabès. Les chalutiers y représentent 60,8 pour cent de la flottille chalutière nationale.

La répartition de la flottille par type de barques et par délégation maritime est consignée dans le tableau 18.

Les barques côtières motorisées, généralement de 30 à 45 C.V. travaillent pratiquement avec tous les engins possibles; tous les types de filets, les hameçons, les petites sennes, les nasses, les pots à poulpes et les tartaronnes (mini-chalut ou "kiss"). Mais aucune répartition de ces barques en fonction de l'engin utilisé n'est possible, le pêcheur peut changer de type de filet du jour au lendemain comme il peut changer de zone de pêche.

Les barques à voiles à champs d'action plus réduit travaillent pratiquement avec ces mêmes engins excepté les petites sennes tournantes.

Deux principales campagnes de pêche aux poulpes *Octopus vulgaris* et à la crevette camarote ou royale *Penaeus kerathurus* caractérisent la pêche dans son sens large au golfe de Gabès.

La campagne des poulpes s'étend officiellement du 15 octobre à fin mai de chaque année. L'engin utilisé est le pot (ou gargoulette), 2 000 à 3 000 unités sont utilisées généralement par chaque embarcation de pêche côtière. A partir de février jusqu'à fin mai, on utilise le filet trémail.

La campagne de la crevette se déroule généralement du mois d'avril jusqu'à juillet pour les barques côtières et du premier novembre au 31 janvier pour les chalutiers dans les profondeurs supérieures à 30 m. En dehors de cette campagne le chalutage est interdit en deçà de -50 m.

Tableau 18 : Répartition de la flottille par type de barque et par délégation maritime

Gouvernorats	B.C.M	B.C.N.M	Chalutiers	Sardiniers	Thoniers
Jendouba	45	76	11	4	0
Bizerte	533	626	35	20	0
Tunis	151	155	12	0	0
Nabeul	231	146	16	57	0
Sousse	153	88	9	1	1
Monastir	561	634	17	33	1
Mahdia	597	1 120	60	103	5
Sfax (par port)					
Sfax	448	685	257	0	28
Kerkennah	528	2 109	0	0	0
Maharès	90	160	0	0	0
Ellouza	402	742	0	0	0
Sidi Mansour	121	265	0	0	0
Skhira	81	95	0	0	0
Gabès	221	169	0	107	24
Medenine	956	1 628	6	22	6
Autres		54			
Total	5 118	8 733	423	347	65

B.C.M. : barques côtières motorisées , B.C.N.M. : barques côtières non motorisées

2.5.2.4. Etat d'exploitation des ressources halieutiques

Trois gouvernorats côtiers bordent le golfe de Gabès: Sfax, Gabes et Medenine. Sept ports sont connus dans la région de Sfax (Ellouza, Sidi Mansour, Sfax, Maharès, Skhira, Kratten et El Attaya), le huitième est en cours de construction à Elawabed.

A côté de ces principaux ports, plusieurs autres centres de débarquement de pêche côtière sont disséminés tout au long de la côte. Dans notre zone d'étude, de Sfax à Thyna, quatre petits centres de débarquement côtiers ont été recensés.

La production halieutique dans le golfe de Gabès qui était en augmentation continue jusqu'à 1988 a commencé à fléchir à partir de cette date malgré l'augmentation considérable de l'effort de pêche (Figure 32).

En effet, la flottille, élément principal de l'effort de pêche, connaît une expansion prodigieuse et devient de plus en plus puissante (Figure 32). Cependant, les chalutiers continuent à pêcher dans les faibles profondeurs à la recherche des espèces destinées à l'exportation et un investissement supplémentaire.

Des travaux de dynamique sur les ressources démersales dans le golfe de Gabès, aussi bien par les chalutiers que par les petits métiers, montrent que le stock des espèces benthiques exploitables est surexploité (Ghorbel en Bradai et Bouain, 1994). Il s'avère alors nécessaire de réduire l'effort de pêche en limitant le nombre des exploitants et en les encourageant à s'orienter vers des zones relativement peu exploitées.

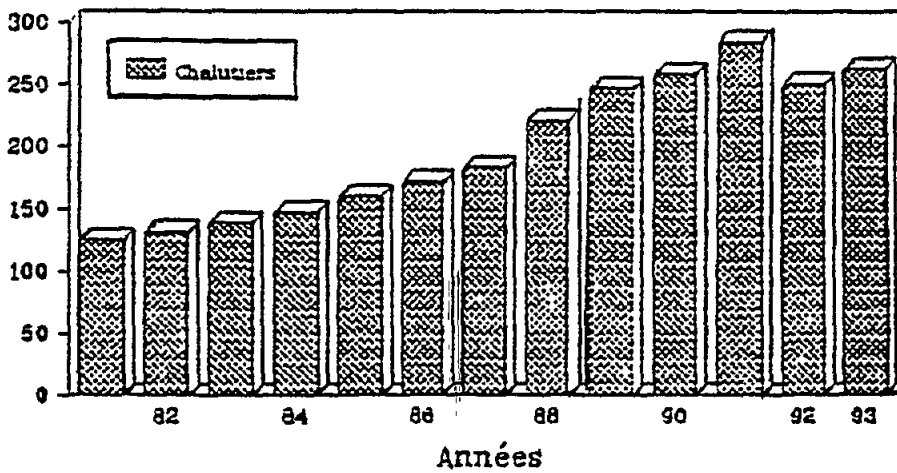
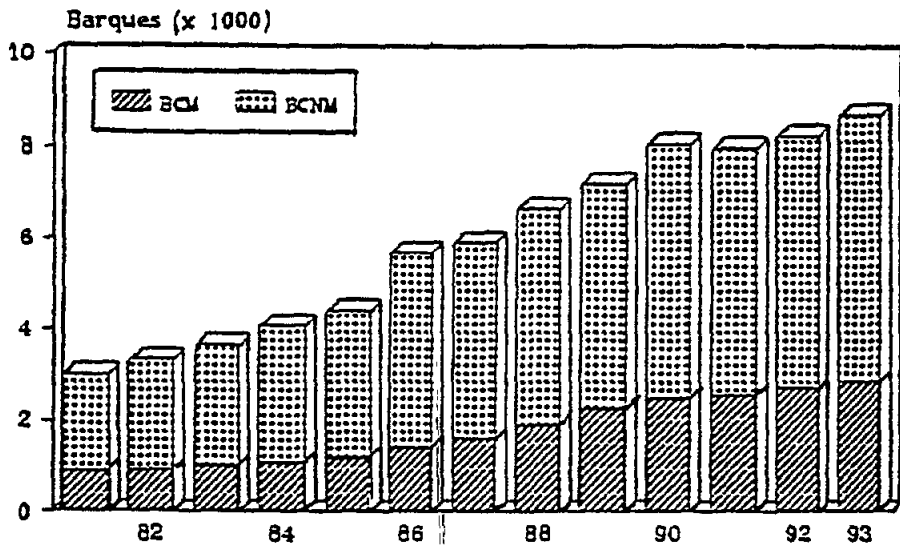


Figure 32 - Evolution des barques côtières (Golfe de Gabès; 1981-93)

Par ailleurs, la flottille de pêche opérant dans le golfe de Gabès est très hétérogène; celle de la pêche côtière renferme des barques à rames, à voiles et à moteurs de longueurs et de puissances variables. La puissance des chalutiers varie de 150 C.V. à 1 300 C.V.. Par ailleurs, la pêche à pied est très importante (coquillage surtout).

Toutefois, cette flottille, très hétérogène, opère pratiquement dans les mêmes zones. Les techniques de pêche utilisées sont également très diversifiées, et une même barque peut utiliser plusieurs engins à la fois.

Cette multitude d'engins, peu sélectifs, utilisés pratiquement dans les mêmes zones pêchent plusieurs espèces à la fois et pour des engins différents la liste des espèces est généralement la même; le chalut et le trémail capturent environ une vingtaine d'espèces. Il n'y a pratiquement que les pots à poulpes qui sont spécifiques.

Les principales espèces pêchées sont: la crevette camarote ou royale *Penaeus kerathurus*, la pieuvre *Octopus vulgaris*, la seiche *Sepia officinalis*, le rouget de roche *Mullus surmuletus*, le rouget de vase *Mullus barbatus*, le sparailon *Diplodus annularis*, le merlu *Merluccius merluccius*, l'émissole *Mustellus mustellus*, le baliste *Balistes carolinensis*, la saupe *Sarpa salpa*, les picarels et mendoles *Spicara spp.* et le chinchard.

2.5.2.5. La population maritime

Environ 20 000 marins pêcheurs ont été recensés dans le gouvernorat de Sfax en 1993 dont 74 pour cent sont des pêcheurs côtiers et environ 16 pour cent travaillent à bord des chalutiers, les autres travaillent à bord des thoniers ou à pieds (1500) pour la collecte des clovisses où palourdes. Les sites de collecte connus dans la région de Sfax sont: Sidi Mansour, port de Sfax, Thyna, Gargour, Oued Maltine (Oungha), îlots Kneis et Kerkennah.

Cette population maritime dans la région de Sfax représente environ 33 pour cent du total national estimé à 60 500 pêcheurs (DGPA, 1993).

2.5.2.6. Exportation des produits de la pêche

Environ 20 usines de congélation et d'exportation des produits de la pêche sont installées à Sfax. Les exportations concernent essentiellement les céphalopodes et les crevettes congelées.

Pour l'année 1992, 8 080 tonnes de produits de la mer ont été exportées. Ce tonnage représente environ 33 pour cent de la production régionale et 67 pour cent des exportations nationales. Les quantités exportées de chaque groupe d'espèces sont consignées dans le Tableau 19.

Tableau 19 : Quantités exportées de la Tunisie et de Sfax pour chaque groupe d'espèce

Nature du produit	Sfax Quantité (en tonnes)	Toute la Tunisie	
		Quantité (en tonnes)	Valeurs (en dinars)
Poissons	259	1 649	16 034
Crustacés	1 503	2 004	22 628
Céphalopodes	5 724	6 961	20 115
Coquillages	583	963	4 792
Divers	13	415	2 785
Total	8 080	11 992	66 354

2.5.3. L'aquaculture

L'aquaculture reste encore économiquement très modeste en regard de la pêche. Elle a cependant largement évolué au cours de la dernière décennie. Trois fermes aquacoles importantes sont installées dans la région du golfe de Gabès *sensu lato*, mais aucune exploitation n'est située dans notre zone d'étude.

2.5.4. Sylviculture

La région de Sfax est connue par sa pauvreté en plantations sylvicoles et ce en raison de l'importante mise en valeur agricole. En ce qui concerne la zone retenue pour la présente étude, on rencontre quelques bandes forestières à proximité du centre urbain de Sfax ainsi que de part et d'autre des voies d'accès à la ville. La bande forestière du Parc urbain de Thyna peut être considérée comme étant la plus importante à observer au sein de la zone. L'*Eucalyptus* et l'*Acacia cyanophylla* sont les deux espèces les plus utilisées dans ces plantations forestières. L'*Atriplex halimus* est également utilisée pour l'ornementation ainsi que pour l'amélioration de la qualité alimentaire des pâturages de la partie méridionale de la zone (Chaffar Nakta). Enfin, *Ficus nitida*, espèce d'alignement, considérée pour sa résistance à la sécheresse et à la pollution, est utilisée comme arbre d'ornement dans la plupart des artères de la ville de Sfax.

2.5.5. La pollution

Les écosystèmes littoraux sont parmi les plus vulnérables de la Tunisie. La principale source de dégradation des écosystèmes côtiers de la région de Sfax est l'importance des rejets industriels, tant de la grande industrie chimique des engrais que de nombreuses PMI. En effet Sfax est devenu le second centre industriel après Tunis, avec de nombreux établissements implantés en zone littorale mais aussi de manière diffuse dans le tissu urbain. On y trouve, à côté des complexes chimiques de fabrication d'engrais phosphatés et de la très grande variété de PME et PMI, un port de commerce et le principal port de pêche du pays avec toutes ses activités induites et la centrale thermoélectrique à diesel. Les complexes de fabrication d'engrais sont à l'origine d'importantes nuisances sur le milieu marin: retombées des rejets atmosphériques, liquides et solides.

Une des usines de production chimique, celle située près du centre ville, est fermée par décision gouvernementale depuis 1988. La deuxième la plus importante est implantée au Sud de la ville, ses émissions atmosphériques, améliorées pour ce qui concerne le gaz sulfureux, sont encore importantes en fluor. Le phosphogypse est stocké à côté de l'usine. Les quantités accumulées sont impressionnantes. Le problème des petites et moyennes industries atteint un degré préoccupant; les rejets se font généralement librement dans des chenaux à ciel ouvert creusés dans le sol. Les usines de conditionnement des produits de la mer, sont équipées en prétraitement et raccordées au réseau municipal et à la station d'épuration.

2.6. L'Énergie et l'Industrie

2.6.1. L'énergie

Elle concerne principalement la production pétrolière, le gaz naturel, l'électricité et la consommation de carburant:

La production de pétrole

Elle émane des gisements d'Ashtart, de Sidi El Itayem, de Gremda, de Maharès, d'El Aïn et de Rhémoura.

La production de pétrole de la région de Sfax est de 1,4 million de tonnes soit près du tiers de la production nationale.

A Sfax, l'industrie a précédé l'extraction du pétrole (l'énergie). L'agglomération (Grand Sfax) compte 2 230 unités industrielles de petites et moyennes tailles concentrées initialement dans les zones littorales mi-aménagées et actuellement de plus en plus insérées dans les zones d'habitat souvent non aménagées (Tableau 20).

Tableau 20 : Etat de production du pétrole dans la délégation de Sfax

Année	Région de Sfax (unité: tonne)				Tunisie entière
	Ashtart	Sidi El Itayem	Autres	Total	
1990	1 307 000	119 000	174 000	1 600 000	4 511 000
1993	1 069 974	109 186	214 908	1 394 068	4 641 173

Sources: -Revue tunisienne de l'énergie n° 29 - 1993
-Etat de la production mensuelle d'huile en 1993 SEREPT 1994

Le gaz naturel

Production offshore en voie d'exploitation, cette nouvelle composante énergétique laisse entrevoir des perspectives de développement porteuses pour l'économie de Sfax.

A court et à moyen terme, ce gaz naturel va alimenter en énergie les zones industrielles de Gabès et touristiques de Sousse. A long terme, la partie dense de Sfax pourrait y être connectée pour répondre aux besoins domestiques (98 pour cent des ménages du milieu urbain de Sfax utilisent le gaz bouteille comme source d'énergie - ENPE, 1989).

A très long terme, les ressources actuellement connues iraient vers le tarissement. A défaut de nouvelles découvertes, la Tunisie devrait compter sur de nouvelles ressources énergétiques.

L'électricité

La production et la distribution d'énergie électrique en Tunisie est le monopole de l'entreprise publique la STEG (Société Tunisienne d'Electricité et de Gaz). La consommation électrique du Grand Sfax entre 1987 et 1994 est passée de 251 GWH (1 giga watt par heure = 10^9 WH) pour 124 000 abonnés à 416 GWH pour 179 000 abonnés subissant ainsi un accroissement au taux moyen de 7,5 pour cent par an. Cette consommation se répartit en 57 pour cent pour les besoins industriels et 43 pour cent pour ceux domestiques. Actuellement tous les logements du Grand Sfax sont pratiquement alimentés en électricité (taux d'électrification des logements: 98 pour cent - RGPH, 1984).

A très long terme, la consommation électrique du Grand Sfax se poursuivrait au rythme moyen annuel de 7,5 pour cent par an; elle serait en l'an 2030 de l'ordre de 5 000 GWH. L'énergie post 2030 dans ce domaine pourrait bien provenir des sources nouvelles (énergie nucléaire entre autres).

La consommation de carburant

Pour les déplacements dans le Grand Sfax, selon l'enquête ménages 1984 (SORETRAS/IRT/GES, 1985), la consommation d'énergie était de 167 gep (grammes équivalents pétrole) par personne de plus de 6 ans soit 15 000 tonnes actuellement (accroissement de 7 pour cent par an compte tenu des accroissements du taux de motorisation et de celui des déplacements).

L'utilisation de plus en plus massive de la voiture particulière entraînerait certainement un développement plus soutenu de la consommation de carburant.

2.6.2. L'industrie

Sfax, ville initialement agricole et de négoce, s'est ouverte à l'industrie dans les années 50 (industrie chimique des phosphates) et s'est affirmée dans les industries manufacturières dans la décennie 70 grâce aux investissements privés. Ces dernières emploient le quart de la population active du gouvernorat (contre 19 pour cent pour la Tunisie : ENPE, 1989).

Ces industries sont localisées principalement dans les zones industrielles littorales de Sfax (zones de Poudrière 104 ha, de Madagascar 23 ha, d'El Maou Nord 180 ha, d'El Maou Sud 80 ha; figure 33).

Durant la période 1973-1988, le tissu industriel de l'agglomération sfaxienne s'est renforcé par la création de 1873 nouvelles unités pour 173 millions de dinars d'investissements offrant 22 milles emplois. Les branches dominantes étant les industries agricoles et alimentaires (25 pour cent des investissements pour 16 pour cent des emplois) et celles du textile de l'habillement et du cuir (25 pour cent des investissements pour des emplois) (Tableau 21).

**Tableau 21 : Les industries manufacturières:
Projets réalisés dans le Grand Sfax durant la période 1973 - 1988**

Type d'industrie	Agglomération de Sfax			Total gouvernorat de Sfax		
	NP	I	E	NP	I	E
ID	382	29 096	3 137	414	38 252	3 563
IAA	257	42 232	3 571	307	45 685	3 963
IMCCV	68	9 164	958	112	21 567	1 691
IME	292	32 263	2 727	316	34 567	2 898
ICHC	119	24 661	1 116	135	166 315	1 606
ITHC	755	35 823	10 767	777	38 539	11 279
Total	1 873	173 194	22 276	2 061	344 925	25 000

- NP : nombre de projets
- I : Investissements en millier de dinars
- E : Emplois industriels à Sfax, Août 1990
- ID : Industries diverses
- IAA : Industries agricoles et alimentaires
- IMCCV : Industries des matériaux de construction de céramique et verre
- IME : Industries mécaniques et électriques
- ICHC : Industries chimiques et de caoutchouc
- ITHC : Industries de textile d'habillement et de cuir

Source : Agence de Promotion des Investissements, 1990

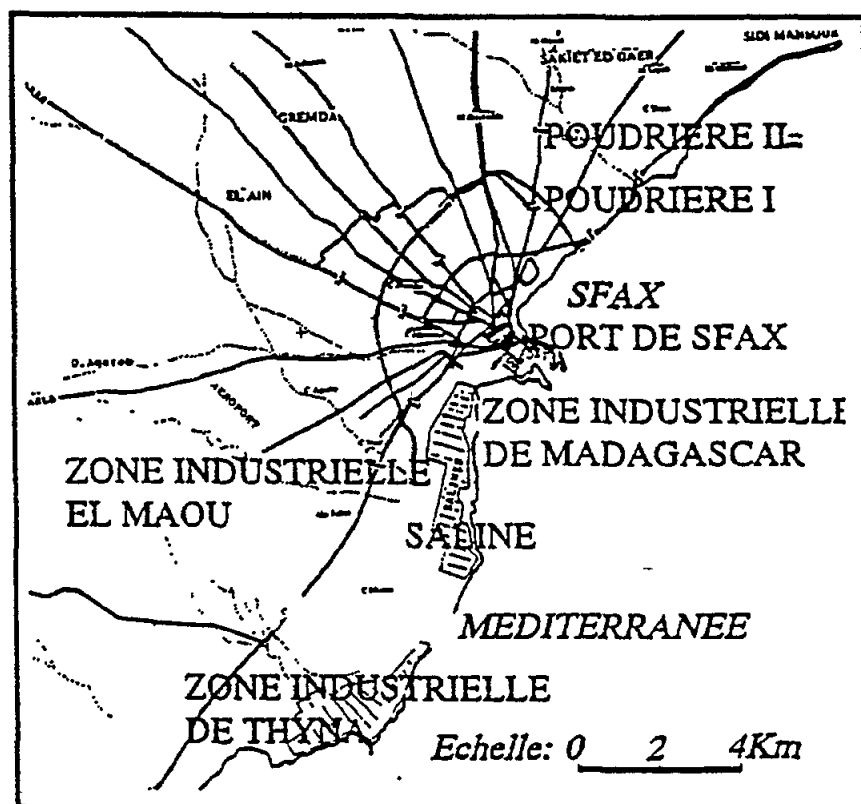


Figure 33 - Les zones industrielles de Sfax

Ces industries manufacturières ont ainsi permis la création de 1 666 emplois par an dans le gouvernorat de Sfax dont près de 90 pour cent dans l'agglomération de Sfax. Cette dynamique s'est poursuivie durant le VII Plan de développement économique et social (1987-1991) et les 3 premières années du VIII Plan (Tableau 22).

Tableau 22 : Les industries manufacturières: Investissements et emplois dans le Gouvernorat de Sfax durant la période 1987 - 1994

Type d'industries	Investissements 10 ³ dinars		Emplois	
	Volume	%	Volume	%
ID	76 035	26.3	4 524	16.1
IAA	22 064	7.6	1 255	4.5
IMCCV	42 097	14.6	2 827	10.1
IME	30 307	10.5	1 116	4.0
ICHC	81 001	28.1	15 761	56.1
ITHC	37 104	12.9	2 582	9.2
Total	288 608	100	28 065	100

Sources: - Gouvernorat de Sfax (1991). VIII P.D.E.S. (1992 - 1996) Rapport de la commission régionale de Sfax juin 1991.
 - MADDR (1991) Le rapport de suivi du développement du gouvernorat de Sfax Année 1994 cellule de planification régionale de Sfax - Avril 1994.

Les industries non manufacturières, à initiative publique, ont mobilisé durant le VI Plan (1987-1991) une enveloppe de 52 millions de dinars (commission régionale du Plan 1991) représentant 42 pour cent des investissements globaux et 7 pour cent du volume des investissements globaux du VII Plan pour le gouvernorat de Sfax. Elles concernent principalement les industries chimiques de traitement des phosphates (unités Siape I et II).

Ce développement industriel a engendré une dégradation progressive de l'environnement plus spécialement celui du littoral de Sfax déjà pénalisé par la proximité d'autres sources de contraintes écologiques affectant directement la Méditerranée (trois volumineux dépôts de phosphogypses, une gigantesque décharge municipale, les vastes lits de séchage des sous-produits des huileries de Sfax, les décharges incontrôlées des unités industrielles...).

Il est difficile d'appréhender l'évolution à long terme dans ce secteur; ici, les variables endogènes mais aussi exogènes (fort multiples: mondialisation de l'économie, progrès technologiques, comportements des producteurs et consommateurs) sont non seulement importantes mais déterminantes.

2.7. Tourisme

La région de Sfax, à l'exception des îles de Kerkennah, dispose de peu d'atouts touristiques paysagers et naturels. De ce fait, elle n'a pu développer son infrastructure hôtelière (Tableau 23).

Secteur très marginal de l'économie Sfaxienne, le tourisme ne représente que 2 pour cent de l'activité touristique nationale (1,3 pour cent des unités et 2,1 pour cent des capacités en lits).

La ville dispose, toutefois, d'une Médina gardant encore ses spécificités propres (remparts, souks, grande Mosquée...), sa vivacité urbaine (cité en charnière entre le centre actuel -Bab El Bhar- et le nouveau centre de Sfax Jedida) et son pouvoir attractif (fonctions commerciale et artisanale). Par ailleurs, la situation de Sfax entre deux grands pôles touristiques au Nord (Sousse - Monastir) et au Sud (Jerba - Zarzis) fait de cette ville un lieu d'escale approprié. Son dynamisme industriel et son développement universitaire lui confèrent la vocation de tourisme d'affaires et de culture.

Tableau 23 : Capacité et nuitées* hôtelières à Sfax

	1987		1990		1993		Capacité1993	
	Nuitées	TO	Nuitées	TO	Nuitées	TO	Nb unité	Nb lits
Sfax	135	26,8	230	39,5	233	33,6	23	1 891
Kerkennah	87	30,9	101	35,0	61	28,1	7	1 137
Total	222	28,3	331	37,2	294	32,3	30	3 028
Tunisie entière	17 516	58,8	18 841	54,0	22 120	-	574	144 008

TO = Taux d'occupation, * nombre de nuitées de non résidents en milliers

Sources : - Annuaire statistique de la Tunisie INS n°36-1993
- L'économie de la Tunisie en chiffres INS n°31-1994.

Il demeure que le développement de ce secteur reste largement tributaire d'une part du renforcement de l'infrastructure aéroportuaire et d'autre part de l'aménagement, de la mise en valeur et de l'exploitation des potentialités actuelles (îles de Kerkennah) et futures (Taparura - Chaffar...)

Le tourisme local reste très faible à Sfax; la ville ayant perdu depuis 1978 ses plages, condamnés par l'industrie, ne peut les réhabiliter qu'avec une action globale de dépollution escomptée à travers le projet Taparura visant, entre autres, la création de 5 km de plages.

2.8. Les transports et les services

Second pôle économique du pays, Sfax dispose d'importantes infrastructures de transports et des services associés (services des douanes, activités de fret, transitaires, assurances...) contribuant à impulser la croissance et à désenclaver la ville. Si celle-ci doit son développement économique à son port (1^{er} port du pays en tonnage), la faiblesse de son infrastructure aéroportuaire freine aujourd'hui quelque peu son expansion économique. La ville connaît par ailleurs une infrastructure routière pratiquement inadaptée à son poids démographique, à son rôle économique et à sa dimension urbaine surtout dans ses parties centrales et péricentrales.

Les transports maritimes

Le port de Sfax comprend trois bassins d'une superficie de 57 ha et des quais longs de 3 054 m pour 38 ha de terres pleines, accueille actuellement près de 1600 navires par an (contre 5 500 pour l'ensemble des ports tunisiens: Tunis Goulette, Sousse, Bizerte, Gabès, Zarzis, et Sfax) assurant un trafic de marchandises de 4,9 millions de tonnes (importations + exportations) contre 16,2 millions de tonnes pour l'ensemble des ports tunisiens. Les activités de ce port sont synthétisées dans le Tableau 24.

Tableau 24 : Activités du port de Sfax

	1987		1990		1993	
	Sfax	Ensemble des Ports	Sfax	Ensemble des Ports	Sfax	Ensemble des Ports
Nombre de navires entrés	1 541	4 816	1 392	5 124	1 5600	5 520
Jauge brute des navires entrés (1000t)	4 793	20 697	4 536	23 160	5 040	28 656
Marchandises débarquées (1000t)	1 817	7 425	2 152	10 006	2 184	10 178
Marchandises embarquées (1000t)	2 555	6 277	1 724	5 982	2 108	6 005

Sources: - Bulletins mensuels de statistiques INS - collection.

Les principales marchandises embarquées annuellement durant la période 1990 - 1992 sont:

- les produits phosphatiers : 1.4 million de tonnes
- le sel marin : 235 milliers de tonnes
- l'huile d'olive : 69 milliers de tonnes.

Celles débarquées annuellement durant la même période sont:

- les combustibles : 876 milliers de tonnes
- le souffre : 556 milliers de tonnes
- les céréales : 224 milliers de tonnes

L'activité de cabotage du port de Sfax est actuellement limitée. Celle des transports de voyageurs en est de même (700 voyageurs non résidents en moyenne par an) pourtant, elle constitue une opportunité pour le port de Sfax susceptible de soulager dans ce domaine le port de Tunis: La Goulette assurant un trafic de 55 000 voyageurs par an.

De par sa position stratégique sur la côte Est de la Tunisie, le port de Sfax continuera à jouer à très long terme un rôle structurant et important dans l'économie du pays.

Les transports aériens

L'aéroport de Sfax, de classe internationale, doté d'une piste de 3 000 m de long et d'une aérogare de capacité de 200 000 voyageurs par an, a connu un trafic de 81 600 passagers en 1993 contre 45 600 en 1990 soit un taux d'accroissement annuel de 21 pour cent (contre 7,5 pour cent par an pour l'ensemble des aéroports de la Tunisie: Tunis-Carthage, Monastir, Skanes, Jerba-Zarzis-Tozeur-Sfax) (Tableau 25).

Tableau 25 : Evolution des activités de l'aéroport de Sfax

Année	1990		1993	
	Aéroport de Sfax	Ensemble des aéroports	Aéroport de Sfax	Ensemble des aéroports
Nombre d'avions (Arrivées et départs)	2 112	50 352	3 564	70 704
Passagers (entrées)	21 600	2 481 600	37 200	3 123 600
Passagers (sorties)	21 600	2 539 200	36 000	3 146 400
Passagers (transit)	2 400	118 800	8 400	121 200

Sources: Bulletins mensuels de statistiques INS - (collection).

Le trafic de l'aéroport de Sfax ne présente ainsi que 1 pour cent du trafic passagers de l'ensemble des aéroports de la Tunisie. Cette infrastructure demeure ainsi en disconvenance avec le rang, la taille et le rôle de Sfax en tant que second pôle économique du pays.

L'aéroport de Sfax assure par ailleurs un trafic de fret (essentiellement les produits de mer et articles de confection). Les tonnages encore timides étaient de 150 et 120 tonnes pour les importations en 1993 et 1994; les exportations pour les années correspondantes furent de 73 et 142 tonnes.

Le désenclavement de l'économie de la région et par là de celui national nécessite le renforcement des activités de l'aéroport de Sfax par entre autres, l'ouverture de nouvelles lignes internationales connectant directement Sfax avec l'extérieur.

Le transport ferroviaire

Monopole de la Société Nationale des Chemins de Fer Tunisiens (SNCFT), le transport ferroviaire dans le gouvernorat de Sfax dispose d'un réseau long de 272 km assurant en moyenne 54 voyages en entrées et sorties de Sfax dont 20 pour le transport des voyageurs.

Le nombre de voyageurs au départ de la gare de Sfax était de 602 000 en 1990 contre 576 000 en 1993. Cette légère régression s'explique essentiellement par la concurrence rail - route (la mise en service de la seconde tranche de l'autoroute Sousse - Tunis fait gagner aux voyageurs Sfax-Tunis 25 pour cent du temps du trajet - 3 heures au lieu de 4). La gare de Sfax a, en outre, accueilli 521 000 voyageurs à l'arrivée en 1993.

Cette même gare a par ailleurs assuré le transport de marchandises:

- Phosphates: 5 769 000 tonnes en 1993 contre 4 945 000 tonnes en 1990
- Marchandises diverses:
 - En expédition : 1 344 000 tonnes en 1993 contre 1 250 000 en 1990
 - En arrivage : 1 446 000 tonnes en 1993 contre 1 308 000 en 1990.

Le développement économique de Sfax de même que celui de la Tunisie, ne peut se passer de ce mode de transport aussi bien pour les voyageurs que pour les marchandises. C'est pourquoi il est nécessaire de le repenser dans une stratégie visant le dédoublement de la voie ferrée Sfax - Tunis et son éventuel passage de voie métrique à celle normale.

Les transports urbains dans le Grand-Sfax

Le périmètre de l'agglomération urbaine de Sfax couvre 20 000 ha environ pour près de 400 000 habitants en 1994 soit une densité urbaine faible 20 habitants par hectare (4 logements par hectare en moyenne). Les déplacements urbains dans ce périmètre au nombre de 482 000 en 1989 (contre 384 000 en 1984) ont augmenté au taux moyen annuel de 4,7 pour cent par an (Tableau 26).

Tableau 26 : Répartition modale des déplacements dans le Grand Sfax

Mode de déplacements	1984 ⁽¹⁾		1989 ⁽²⁾	
	Déplacements	%	Déplacements	%
Voiture particulière	80 000	20,9	168 100	34,9
Deux roues	138 000	35,9	167 200	34,7
Transports collectifs	166 000	43,2	146 700	30,4
Ensemble	384 000	100	482 000	100

Sources: - (1) Enquête ménages SORETRAS/IRT/GES (1985).
- (2) Municipalité de Sfax (1993). SIDES - ETAU - BECEOM

La répartition modale de ces déplacements est pratiquement quasi - équitable entre les modes voiture particulière, 2 roues et transports collectifs avec une tendance de développement des déplacements en voiture particulière (croissant entre 1984 et 1989 au taux moyen annuel de 16 pour cent) au détriment de ceux en transports collectifs (en régression au taux de 2,5 pour cent par an durant la même période).

La répartition des ménages selon la disponibilité d'un mode de transport met en évidence l'importance des 2 roues à Sfax:

- 43 pour cent des ménages dispose au moins d'un 2 roues (Sfax ville plate, climat en évidence propice et prédominance d'une classe moyenne)
- 15 pour cent des ménages possèdent au moins une voiture.

Les transports collectifs à Sfax sont assurés par la Société Régionale des Transports du Gouvernorat de Sfax (SORETRAS) disposant d'un réseau urbain développant 411 km pour 20 lignes (1118 points d'arrêt allers-retours en 1990) et un parc de 181 autobus (dont 104 articulés) avec une capacité de 28 280 passagers et réalisant un trafic de 45 millions de voyageurs en 1990 avec une augmentation de 2,9 pour cent par an entre 1987 et 1990.

Les transports inter - urbains assurés par la même société desservent 114 lignes dont 93 intra - gouvernorat de Sfax pour un linéaire de 17 354 km.

La Société de Transport National et International de Marchandises (SOTRANIM) de Sfax a de son côté assuré le transport de 1 125 000 tonnes de marchandises (moyenne des années 1988 - 1991).

La configuration radioconcentrique, la faiblesse de la densité urbaine, le rallongement des distances à parcourir et l'hypertrophie du centre n'ont pu malgré l'importance démographique justifier à Sfax la mise en place d'un mode de transport lourd. C'est pourquoi la planification spatiale en

vigueur (Figure 34) a envisagé le développement de cette agglomération le long d'un axe littoral permettant à long terme la rentabilisation d'un métro léger. La non réalisation de ce mode entraînerait l'étranglement des artères de la ville par un recours massif à la voiture particulière qui, étant donné l'étroitesse des voies à Sfax, ne peut résoudre les problèmes de déplacements au sein de cette agglomération. L'usage révéle et potentiel des deux roues, faute d'aménagements adéquats, se trouverait quant à lui entravé

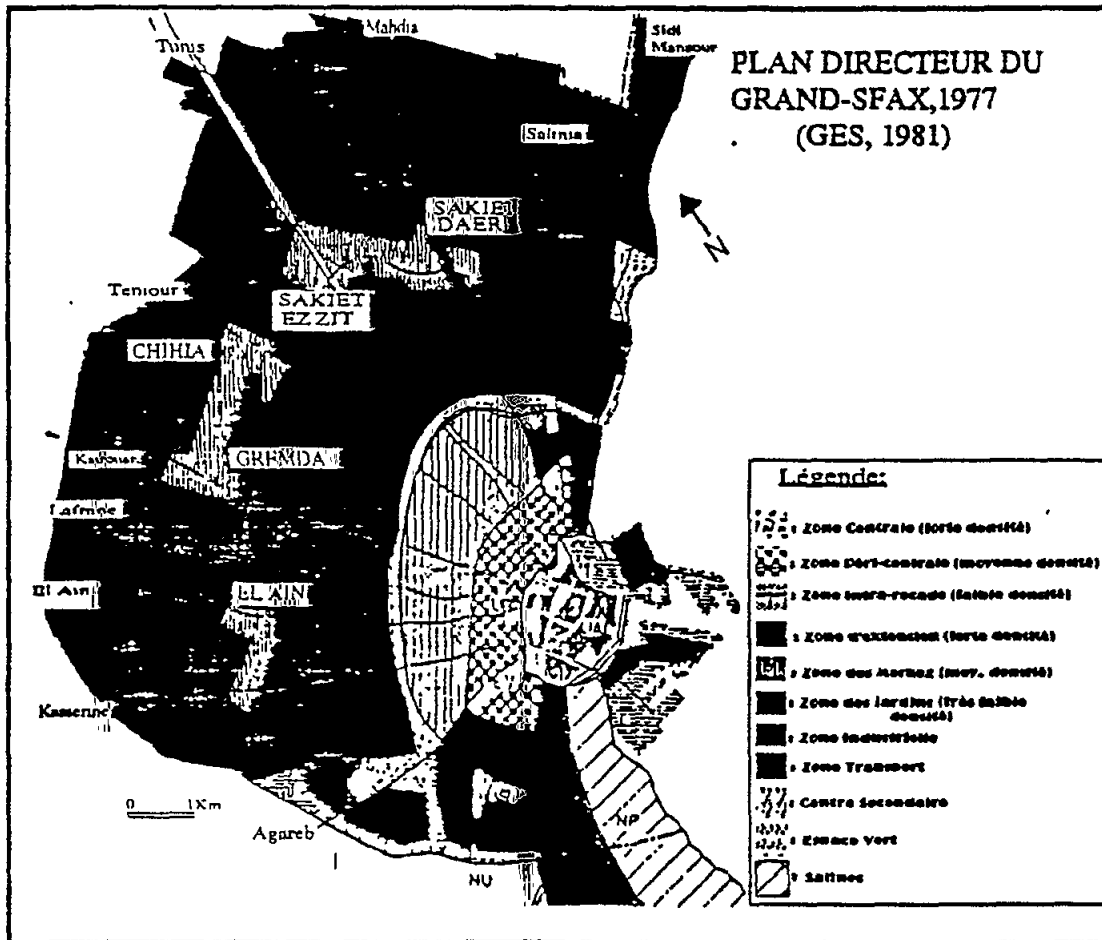


Figure 34 - Plan Directeur du Grand Sfax, 1977

2.9. L'assainissement et la santé

Sfax est entrée dans la dynamique urbaine à proprement dire à partir des années 60 avec le "grignotage" et le morcellement de ses jardins, jadis espaces récréatifs, productifs et supports de résidences secondaires, ce qui avec le temps, a entraîné un développement à l'horizontale de la ville par essaimage de logements couvrants 12 000 ha en 1980 et 20 000 ha actuellement. La majeure partie de la ville est en cours de mutations fonctionnelles et paysagères; la ville passe de l'aspect urbain à celui purement urbain. Cette évolution est susceptible de poser dans certaines zones de la ville quelques contraintes environnementales, hygiéniques et d'insalubrité publique.

L'assainissement

Le parc de logements du Grand Sfax en 1984 était de 69 000 logements dont 78 pour cent sont rattachés au réseau d'alimentation en eau potable (SONEDE) et 33,7 pour cent seulement sont raccordés au réseau d'égouts de la ville. L'Office National d'Assainissement (ONAS) a depuis intensifié

ses actions de branchements réalisant en moyenne 1 500 nouveaux branchements par an durant la période 1987 - 1993 atteignant ainsi le taux de 40 pour cent du parc actuel de logements (102 000 unités).

Malgré cette amélioration, la faiblesse de ce taux a conduit à une pollution continue de la nappe phréatique de Sfax, avec une remontée croissante de son niveau piézométrique (les logements non raccordés au réseau "ONAS" déversent pratiquement leurs eaux usées dans la nappe à travers les puits perdus). Il est à signaler par ailleurs que le gradient de cette nappe étant orienté vers la mer celle-ci se trouve ainsi polluée. Face à cette remontée inquiétante, l'ONAS entreprend divers ouvrages en vue de drainer et d'abaisser le niveau de cette nappe plus particulièrement dans les zones sensibles là où elle affleure.

Le taux de branchements "SONEDE" est actuellement de 93 pour cent, cette société a fourni en 1993 près de 20 millions m³ d'eau à ses abonnés de Sfax dont 8 millions seulement ont été traités par la station d'épuration de la ville (Tableau 27). Une partie de ces eaux (36 pour cent) a été réutilisée dans l'agriculture (cultures fourragères aux environs de Sfax).

Les rejets liquides de la plupart des unités industrielles de Sfax ainsi que les margines (sous produits de l'oléifaction) ne sont naturellement pas collectés par cette station. Pour les industries, des pré - traitements spécifiques sont exigés par l'ONAS et pour les margines, des lits de séchage ont été aménagés par l'ONAS (40 ha accueillant en moyenne 100 000 tonnes par an provenant des 200 huileries du Grand Sfax).

Tableau 27 : Activités de la station d'épuration des eaux usées de Sfax

Année	Débit milliers de m ³	Capacité d'utilisation de la station %	Volumes d'eau milliers de m ³ réutilisés	
			Volume	%
1987	5 517	64.9	ERM	0
1990	7 059	83.0	1 544	21.8
1993	7 729	90.9	2 793	36.1

ERM = eau rejetée dans la mer

Sources: - ONAS - District de Sfax.

Les eaux pluviales autrefois retenues par les bassins d'absorption que constituaient les jardins de Sfax avec leur maillage de haies (ou tabias) comportant sur les crêtes des plantes de cactus, se déferlent, eu égard à la rigueur du climat méditerranéen et ses caprices, jusqu'à une date récente et par le biais des radiales, sur le centre ville entraînant des inondations immobilisant durant des heures entières le fonctionnement de la ville. Actuellement, ces eaux sont interceptées par le canal de ceinture de la recarde du km 4 aménagé en 1987 et déversées, de part et d'autre de la ligne de crête radiale de Gremda, dans la mer. Un second canal, recalibrage de l'ancien lit de l'Oued Sakiet Ezzit - Sakiet Ed Dair draine de son côté les eaux en provenance du bassin versant amont Nord Est. L'Oued Chaâbouni captant les eaux pluviales du bassin versant amont Ouest a, de son côté, fait l'objet de travaux d'aménagement protégeant la ville contre ses crues (cf. schéma de protection de Sfax contre les inondations (MEH, 1983).

La prolifération des constructions dans les zones ex - jardins de Sfax, la pollution et la remontée du niveau de la nappe nécessitent de poursuivre l'extension du réseau d'assainissement conditionnant l'hygiène, et de là, la santé dans cette ville.

La santé

Le développement urbain de Sfax s'est naturellement accompagné par un renforcement de ses infrastructures et superstructures et notamment celles touchant la santé. Les équipements dans ce domaine sont synthétisés par le tableau 28.

La quasi majorité de ces équipements implantés à Sfax ville a contribué, en 1975, à la création de la Faculté de Médecine de Sfax formant en moyenne une centaine de médecins par an.

Tableau 28 : Infrastructure sanitaire publique dans le Gouvernorat de Sfax en 1994

Infrastructure	1991	1994
- Nombre d'hôpitaux ou polycliniques	10	10
- Nombre de lits	1 211	1 548
- Nombre de centres de santé de base	107	113
- Nombre de médecins	165	224
- Nombre de dentistes	21	17
- Nombre de pharmaciens	21	27
- Nombre de d'infirmiers et d'aides soignants	2 084	2 079

Sources: - Annuaire statistique de la Tunisie volume 35 - 1992
- Sfax et la santé, numéro spécial - DRSP Sfax novembre 1994

Ces données permettent l'établissement des ratios suivants pour l'année 1994:

- 1 médecin pour 3000 habitants
- 1 lit d'hôpital pour 500 habitants
- 1 centre de santé de base pour 6 500 habitants.

L'infrastructure sanitaire du secteur privé est également fort concentrée à Sfax; elle comporte 8 polycliniques, 270 médecins de libre pratique, 65 cabinets dentistes et 110 pharmaciens (chiffres relatifs à l'année 1991).

Par ailleurs, l'analyse de la répartition de la population du Gouvernorat de Sfax montre que les populations vulnérables ont évolué comme suit:

- Population 0 - 4 ans: en régression passant de 15 % en 1975 à 12,5 % en 1989;
- Population 60 ans et plus: en augmentation passant de 7 % en 1975 à 9 % en 1989.

De son côté le nombre de femmes en âge de procréer (15 ans - 49 ans) a augmenté au rythme de 2,7 pour cent par an durant la période 1975 - 1989.

A long terme, les ratios ci-dessus évoqués, connaîtront des améliorations sensibles compte tenu des actions de formation et d'information, de l'élévation du niveau de vie général et des efforts consacrés à la santé en particulier. Il demeure que l'amélioration de la santé à Sfax passe nécessairement par la dépollution et la sauvegarde de l'environnement dans cette ville.

2.10. La population et les logements

Le Gouvernorat (la plus grande division administrative du territoire national) de Sfax couvrant 708 600 ha comporte 15 délégations (la plus grande division territoriale d'un gouvernorat) pour 15 communes en 1994 (Figure 35). Sa population au dernier recensement d'avril 1994, était de 733 687 soit 8,3 pour cent de la population totale du pays (8 785 364 habitants) et son parc de logements compte 177 123 unités soit 9,5 pour cent du parc national (1 868 522 logements).

La population

L'évolution de la population du gouvernorat se résume dans le tableau 29.

L'évolution du taux d'urbanisation du gouvernorat de Sfax entre 1984 et 1994 (62 pour cent contre 59 pour cent) a été plus lente que celle connue par le pays (61 pour cent contre 53 pour cent).

Tableau 29 : Population* du gouvernorat de Sfax entre 1975 et 1994

	Milieu	Recensement 1975	Recensement 1984	Recensement 1994	Taux d'accroissement	
					75-84	84-94
Gouvernorat de Sfax	Urbain	283 668	339 649	454 673	2,0	2,9
	Rural	191 211	238 343	279 014	2,5	2,2
	Total	474 879	577 992	733 687	2,2	2,4
Tunisie entière	Urbain	2 655 788	3 685 470	5 361 751	3,7	3,8
	Rural	2 932 421	3 289 980	4 423 613	1,3	3,0
	Total	5 588 209	6 975 450	8 785 364	2,5	2,9

* population résidente

- Sources:
- R.G.P.H. 8 mai 1975
 - R.G.P.H. 30 mars 1984
 - Premiers résultats du R.G.P.H. 1994.

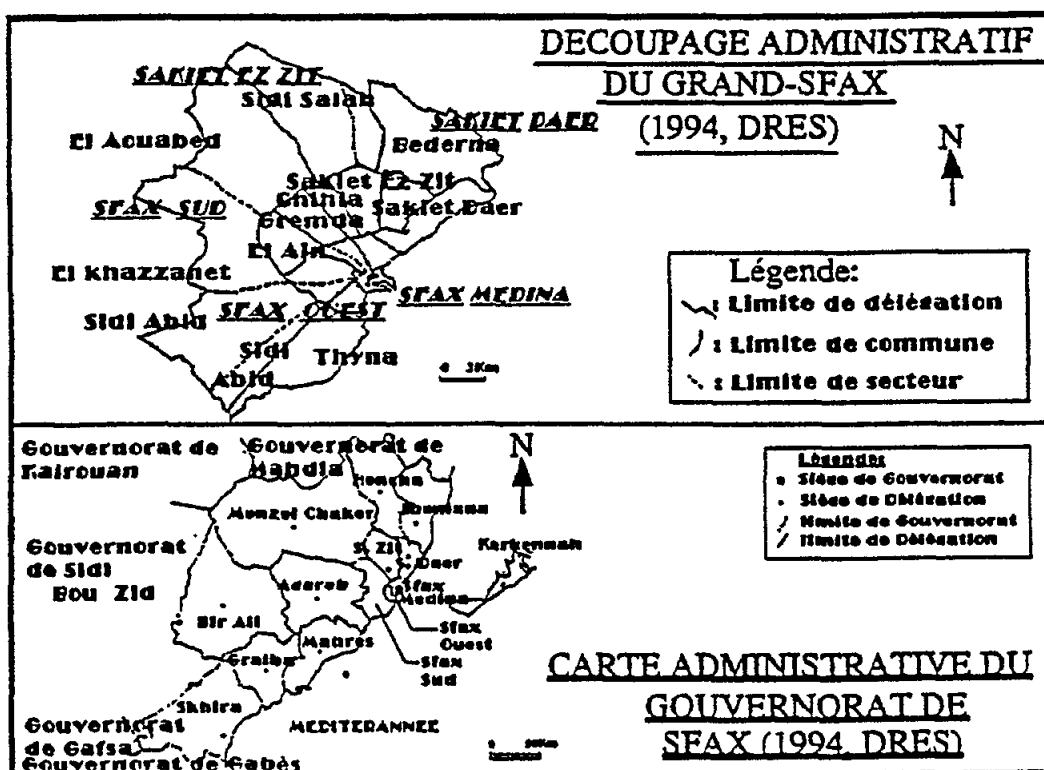


Figure 35 - Découpage administratif du Grand Sfax et de l'ensemble du Gouvernorat

Il s'agit d'une population jeune où la classe (0 - 15 ans) constitue 35 pour cent de la population totale de l'agglomération. Le taux brut de natalité, en régression suite aux actions du planning familial, est de 2,4 pour cent en 1992. Celui des mortalités, en légère régression depuis 1990, est de 6,3 pour cent en 1992.

Le Grand Sfax, 15 300 hectares (Figure 35) 395 000 habitants en 1994, représentant 58 pour cent de la population totale du gouvernorat et 87 pour cent de sa population urbaine, comporte 7 communes dont les populations sont données par le tableau 30:

Tableau 30 : Population des communes du Gouvernorat de Sfax en 1994 et sa croissance depuis 1984

Commune	Recensement avril 1994				Taux accroissement 84 - 94
	Ménage	Masculin	Féminin	Total	
Sfax (1)	52 945	118 874	111 981	230 855	1,6
Sakiet Eddaier	6 537	15 384	14 854	30 238	3,6
Sakiet Ezzit	7 561	17 827	17 159	34 986	2,7
Chihia (2)	4 194	9 797	9 489	19 286	2,9
Gremda (2)	6 360	14 697	14 206	28 903	3,2
El Aïn	3 939	16 520	15 654	32 174	2,6
Thyna (3)	4 081	9 838	8 997	18 835	—
Total Grand Sfax	88 617	202 937	192 340	395 277	2,1
Autres communes du Gouvernorat	12 209	29 882	29 514	59 396	3,0
Total communes du Gouvernorat	100 826	232 819	221 854	454 673	2,9

- (1) La commune a connu un changement de périmètre communal après 1984.
 (2) La commune était en 1984 un arrondissement rattaché à la commune de Sfax.
 (3) La commune créée en 1994.

Sources: - RGPH - INS 1984 et 1994.

La population du Grand Sfax en 1975 était de 266 585 habitants; elle est passée à 304 742 et à 395 277 respectivement en 1984 et 1994; elle s'est alors accrue au taux annuel moyen de 2,1 pour cent durant la période 1975 - 1994 représentant l'un des plus faibles taux d'accroissement des villes tunisiennes. L'agglomération sfaxienne a ainsi un faible pouvoir attractif aussi bien sur son gouvernorat que le reste du pays. La croissance de sa population est due beaucoup au mouvement naturel qu'à celui migratoire (2/3 pour 1/3).

La tranche d'âge (15-59 ans) constituant la population active représente en 1989 pour le milieu urbain de Sfax, 129 000 personnes (dont près de 115 000 pour le Grand Sfax) conférant à ce milieu un taux brut d'activité légèrement supérieur à celui national (32,0 contre 31,4 pour cent). Au niveau du gouvernorat, le taux de chômage en 1989 était de 11,3 pour cent contre 15,3 pour l'ensemble de la Tunisie. La moitié de la population active occupée (152000 personnes en 1984 et 176 000 en 1989) est équitablement répartie entre les 2 secteurs l'industrie et l'agriculture et la pêche; l'autre moitié étant employée essentiellement dans les services.

Le ménage moyen du Grand Sfax entre 1984 et 1994 s'est rétréci passant de 5,16 à 4,46 personnes, ratio inférieur à celui urbain national (4,9 en 1994)

Le taux d'accroissement démographique en Tunisie est en régression 2,5 pour cent par an pour celle de 1975 - 1984 et 2,3 pour cent par an pour celle de 1984 - 1994. Cette tendance, objectif des politiques Tunisiennes de développement va se poursuivre. Ce taux d'accroissement, selon les perspectives de l'ONU serait à peine supérieur à 1 pour cent à l'horizon 2025 "voire 1 pour cent en l'an 2030".

Au niveau du gouvernorat de Sfax, le pouvoir attractif de cette région actuellement faible, pourrait se renforcer sensiblement à très long terme du fait des poids démographiques et économiques de Sfax.

La résultante de ces deux trajectoires fera qu'à l'horizon 2050, Sfax deviendrait une ville millionnaire selon les perspectives suivantes (Tableau 31).

Tableau 31 : Perspectives de populations pour Sfax

Population	Population 1994	TAC 75=94	2030		2050	
			TAC	Population	TAC	Population
Grand Sfax	395 000	2,1	2,0	800 000	2,0	1 100 000
Gouvernorat de Sfax	734 000	2,3	2,0	1 500 000	1,5	2 000 000

TAC= Taux d'accroissement moyen annuel

Pour la population active, c'est l'arrivée massive des jeunes générations sur le marché du travail, ceux nés post 2000, qui sera l'enjeu essentiel de toutes perspectives de développement.

Les logements

La famille sfaxienne à l'image de celle de la Tunisie a beaucoup évolué depuis la promulgation en 1957 du code du statut personnel la faisant passer du stade familial patriarcal à celui monocellulaire. Il en a résulté un éclatement de la famille et par là une multiplication des logements qui, à Sfax, s'est opérée à travers le grignotage improvisé et le morcellement outrancier des jardins de la ville, une autrefois la protégeant environnementalement. Cette famille a néanmoins gardé certaines de ses attaches sociologiques: un ancrage aveugle au foncier, une volonté ferme d'appropriation du logement, un individualisme propre (4/5 des ménages sfaxiens sont propriétaires de leur logement et les logements sont constitués de maisons individuelles ou villas). Au niveau du Gouvernorat, le secteur du logement accapare une grande partie de l'épargne des ménages (autrefois utilisée dans la mise en valeur agricole: plantations d'oliviers essentiellement) et plus du tiers des investissements régionaux (35 pour cent de l'enveloppe pour le VII Plan de développement économique et social 1987-1991). Il crée ainsi un déséquilibre entre les investissements productifs générateurs de richesse et d'emplois et ceux immobilisés dont la pierre. Il en a résulté un parc excédentaire (1,12 logement par ménage en 1984 contre 1,18 en 1994). L'évolution de ce parc par type et par milieu entre les 2 derniers recensements est résumée dans le tableau 32.

Tableau 32 : Parc des logements du gouvernorat de Sfax

	Recensement	1984					1994
	Milieu	Maison	Appartement	Villa	Autre	Total	Parc total
Gouvernorat de Sfax	Urbain	43 356	6 936	24 204	906	75 402	118 721
	Rural	39 271	46	2 725	2 635	44 677	58 402
Tunisie entière	Urbain	460 883	71 854	172 015	21 048	725 800	1 211 267
	Rural	471 015	587	20 555	95 143	587 300	657 255

Sources: - R.G.P.H. 1984 et 1994

Le déséquilibre (nombre de logements, nombre de ménages) est plus important en milieu urbain qu'en milieu rural. En 1994, le milieu urbain du gouvernorat de Sfax compte 100 826 ménages pour 118 721 logements donnant le ratio de 1,18 logement par ménage. Ce ratio est légèrement plus faible au niveau de l'agglomération sfaxienne (1,16 logement par ménage comme indiqué dans le tableau 33).

Tableau 33 : Parc de logements du grand Sfax

Recensement	1984						1994		
	Commune	Nbre de Ménages	Maison Traditionnelle	Appartement	Villa	Autre	Total du Parc	Nbre de Ménages	Total du Parc
Sfax		38 760	25 670	6 575	10 863	692	43 800	52 945	61 302
Gremda		4 081	2 220	37	2 374	34	4 665	6 360	7 237
Chihia		2 740	1 339	44	1 573	41	2 997	4 194	4 773
Sakiet Ezzit		49 090	2 398	43	2 971	40	5 452	7 561	8 704
Sakiet Ed Dair		3 954	1 765	17	2 604	28	4 414	6 537	7 417
El Ain		4 644	2 421	25	2 588	42	5 076	6 939	7 924
Thyna		2 352	2 072	0	633	80	2 785	4 081	5 050
Total Grand Sfax		61 440	37 885	6 741	23 606	957	69 189	88 617	102 407

Source: - RGPH 1984 et 1994

Malgré cet excédent, l'effort de construction de logements dans le Grand Sfax reste soutenu; les communes ont délivré annuellement entre 1989 et 1993 en moyenne 1430 permis de construire pour 2400 logements par an (Tableau 34).

Tableau 34 : Evolution des autorisations de bâtir dans le Grand Sfax

Années	1989	1990	1991	1992	1993
Nombre d'autorisations de bâtir	1 574	1 375	1 516	1 429	1 250
Nombre de logements	2 543	2 954	2 668	2 257	1 640

Source: - Direction Régionale de l'Équipement et de l'Habitat - Sfax rapports trimestriels.

Si le parc de logements de l'agglomération sfaxienne est excédentaire en nombre, il présente cependant une inadéquation entre l'offre et la demande particulièrement au niveau du logement social.

Par ailleurs, l'analyse des données du recensement 1984 (celles de celui de 1994 n'étant pas encore publiées) concernant les conditions d'habitat dans le Grand Sfax dégage les résultats suivants (Tableau 35).

Sur la plan spatial, les densités dans le Grand Sfax restent très faibles (25,8 habitants à l'hectare donnant 6,7 logements par ha), elles varient en fonction du quartier et décroissent en fonction de la distance par rapport au centre ville. L'étalement de l'urbanisation du Grand Sfax a entraîné un sous équipement de la ville en matière de viabilisation posant divers problèmes (assainissement, circulation...) notamment dans les zones sous intégrées et celles d'habitat anarchique.

**Tableau 35 : Les conditions d'habitat dans Grand Sfax en 1984
(en pour cent de logements)**

	Conditions d'habitat	% de logements
Statut d'occupation	Statut d'occupation	79,2
	Locataires	14,0
	Autres	6,8
Nombre de pièces	1 pièce	12,8
	2 pièces	19,3
	3 ou 4 pièces	52,3
	5 pièces et plus	4,4
	Non déclaré	1,2
Eléments de confort	Cuisine	91,7
	W-C	96,5
	Salle de bains ou salle d'eau installée	26,5
	Electricité	98,1
	Téléphone	10,4

Source: - RGPH volume régional gouvernorat de Sfax.

Compte tenu du caractère excédentaire du parc de logements à Sfax, de la réduction de la superficie des unités d'habitat, des perspectives d'une croissance démographique faible, des préoccupations d'investissements dans l'emploi, le rythme de constructions de logements à Sfax connaîtrait post 2000 un fléchissement. Sur le plan spatial, l'étalement de l'agglomération gagnerait à être freiné; les réponses aux besoins en logements futurs pourraient aisément être envisagées par une extension en hauteur (R+1 et R+2) laissant à Sfax son cachet de ville à la dimension humaine et humanisante.

3. IMPACTS POTENTIELS DES CHANGEMENTS PREVUS DANS LES SYSTEMES NATURELS ET LES ACTIVITES SOCIO-ECONOMIQUES

3.1. Tendances climatiques dans la région de Sfax

3.1.1. Introduction

Le réchauffement global de la Terre prévu au cours du siècle prochain constitue désormais une des préoccupations climatiques majeures actuelles. L'intérêt assigné à ce problème réside sans doute dans le fait que ce changement prévu du climat semble avoir une origine plutôt anthropique que naturelle. Le mécanisme de ce réchauffement est désormais assez bien connu. Il résulte d'une augmentation de la concentration du gaz carbonique (CO₂), et d'autres gaz comme le méthane (CH₄), l'oxyde nitreux (N₂O) et l'ozone (O₃) ainsi que le contenu en eau. Ces gaz, bien qu'ils représentent un volume extrêmement faible dans l'atmosphère, jouent un rôle radiatif important dans la mesure où ils piègent le rayonnement infrarouge de surface et contribuent, par effet de serre, au réchauffement de l'atmosphère (Tableau 36).

Tableau 36 : L'effet de serre : phénomène naturel dans l'atmosphère.

	Principaux gaz à effet de serre	T° de surface en l'absence de ces gaz	T° de surface observée	Réchauffement dû à l'effet de serre
Terre	0,04 % de CO ₂ 1% H ₂ O	-18°C	15°C	33°C

Si le système climatique est en équilibre, l'énergie solaire absorbée est exactement compensée par l'énergie rayonnée par le système Terre-atmosphère. Tout facteur susceptible de perturber cet équilibre, et par conséquent d'altérer le climat, est appelé "agent de forçage radiatif", une désignation qui s'applique désormais aux différents gaz à effet de serre.

3.1.2. Modèles et modélisation

A la lumière des données de base acquises sur le système climatique global, il a été possible avec, bien entendu, l'appui de l'ordinateur, de rassembler toutes nos connaissances en modèles mathématiques tridimensionnels qui synthétisent, parfois très schématiquement, le comportement physique et dynamique du système climatique. Ces modèles de la Circulation Atmosphérique Générale (en angl.: "GCMs") tiennent aujourd'hui une place privilégiée du moment qu'ils sont considérés comme un moyen efficace dans la prévision des conditions climatiques postérieures. Ils permettent, par conséquent, l'établissement des futurs scénarios du climat.

Dans le cadre de cette étude, 4 modèles sont utilisés (Houghton *et al.*, 1990):

UKMO : "United Kingdom Meteorological Office"
GISS : "Goddard Institute of Space Studies"
GFDL : "Geophysical Fluid Dynamics Laboratory"
OSU : "Oregon State University".

L'aptitude de ces modèles à établir des scénarios dépend bien entendu de leur résolution ; le scénario est d'autant plus vraisemblable que la résolution spatiale est fine. Les scénarios les plus réalistes sont d'ailleurs ceux qui se caractérisent par une haute résolution.

Les scénarios sont développés à partir des prévisions de réponse d'équilibre des différents modèles de Circulation Atmosphérique Générale.

L'approche standard de la modélisation consiste à déterminer, pour les températures comme pour les pluies, la différence (2 x CO₂) - (1 x CO₂) qui constitue la base des scénarios proposés.

3.1.3. Les scénarios climatiques

3.1.3.1. Généralités

Le Scénario A suppose que les émissions de gaz de serre ne sont pas limitées et leur concentration continue à croître au rythme actuel, d'où sa désignation par "business-as-usual". Selon ce scénario, on prévoit un réchauffement global de l'ordre de 0,3°C par décennie, ce qui correspond à 1°C de plus que le niveau actuel vers 2025 et 3°C vers la fin du siècle prochain.

Les Scénarios B, C et D impliquent un contrôle de plus en plus soutenu des émissions de ces gaz. Ce qui se traduirait par un réchauffement global de l'ordre de 0,2°C par décennie (Scénario B), à peine un peu plus que 0,1°C par décennie (Scénario C) et environ 0,1°C par décennie dans le cadre du Scénario D.

Toutefois, depuis 1990, plusieurs changements sont intervenus dans le monde. Ils sont en particulier d'ordre géopolitique (éclatement de l'ex-U.R.S.S. et Guerre du Golfe) et socio-économique (révisions par la Banque Mondiale et les Nations Unies des perspectives de la population, de l'énergie et de l'industrie). Et compte tenu de ces changements et les émissions de gaz à effet de serre qui leur sont associés, un affinement des scénarios est intervenu en 1992 (Houghton *et al.*, 1992) en remplacement de ceux proposés par l'IPCC en 1990. Ainsi, 6 scénarios alternatifs ont été établis et sont désignés comme IS92 a, b, c, d, e et f. Cette nouvelle version des scénarios englobe un spectre plus large de dispositions qui concernent les futures émissions de gaz à effet de serre. Dans ce cadre, le scénario IS92a est le plus proche du scénario SA90 ("business-as-usual").

Les hypothèses considérées lors de l'estimation du changement prévu à l'horizon 2030:

- La concentration des gaz de serre augmente comme prévu dans le scénario "IPCC SA90 (business-as-usual)". Le CO₂ enregistre une concentration double vers 2020 et quadruple vers 2080.
- La meilleure estimation de la magnitude de l'équilibre moyen global qui résulte du doublement du CO₂ (sensibilité climatique) est actuellement de 2,5°C. Cette estimation est basée aussi bien sur les modèles que sur les observations.
- Les meilleures estimations (issues des scénarios) sont fournies par les modèles à haute résolution spatiale.

3.1.3.2. Scénarios climatiques: application à la zone côtière de Sfax

Le scénario climatique relatif à la zone côtière de Sfax a été déduit par extrapolation des scénarios établis par l'IPCC et l'Université d'East Anglia sur la base de modèle à haute résolution (Palutikof *et al.*, 1992), réalisés sur l'île de Malte. Ces travaux sur Malte se basent sur des données climatiques collectées à partir de nombreuses stations météorologiques, situées dans divers pays du bassin Méditerranéen et dont plusieurs stations se trouvaient dans le territoire tunisien.

Les résultats sont établis pour les deux éléments fondamentaux du climat: les températures et les précipitations. Les perturbations des températures sont présentées à travers un modèle de changement moyen, en degrés Celsius, par degré de changement annuel global. Les perturbations pluviométriques sont fournies en changement en pourcentage pour chaque 1°C de changement annuel global.

Le scénario climatique établi à la zone côtière de Sfax pourrait enregistrer, à l'horizon 2030, pour un °C de changement global, un réchauffement annuel moyen de l'ordre de +0,8 à +0,9°C. Cette estimation à l'échelle annuelle concorde d'ailleurs assez bien avec celles effectuées pour les différentes températures saisonnières. Ainsi, pour l'automne comme pour l'hiver, le scénario proposé est similaire à celui pour les températures annuelles. Le réchauffement serait légèrement plus faible pour l'été (+0,8°C) et encore moins pour le printemps dont le gain de chaleur serait de +0,7 à +0,8°C.

En ce qui concerne les pluies, les scénarios proposés pour la région de Sfax manifestent certaines nuances selon l'échelle de temps considérée. A l'échelle annuelle, les pluies accuseraient, vers l'horizon 2030, une augmentation de +6 à +9 pour cent pour chaque °C de changement global. L'accroissement prévu des quantités pluviométriques serait plus sensible en hiver où l'augmentation varie de +8 à +12 pour cent. Il en est de même également pour les pluies d'automne dont le module accuserait une hausse, par rapport à l'état actuel, de +5 à +10 pour cent. A ce niveau, il apparaît clairement que les changements prévus des pluies sont proportionnels à ceux estimés pour les températures. Inversement, on constate que les pluies du printemps connaîtront une baisse de l'ordre de 0 à -6 pour cent. Le scénario de l'Université d'East Anglia ne fournit aucune prévision pour les pluies en été sans doute en raison de la faiblesse des modules bruts ainsi qu'à leur extrême variabilité.

Par ailleurs, l'analyse climatologique (température et précipitation) des séries séculaires de Sfax (1901-1985) mettent en évidence certaines tendances générales significatives. Au niveau des températures, l'analyse a été menée (séparément) pour les maxima moyens diurnes et les minima moyens nocturnes. Les températures maximales moyennes montrent une tendance générale très significative vers une diminution notamment au printemps, en été et en automne. Quant aux températures minimales moyennes de la nuit, on constate qu'elles se caractérisent généralement par une tendance positive en particulier en janvier et en février. Quelques nuances ont cependant été relevées entre le littoral et l'intérieur. Globalement donc, il est possible de dire que la région de Sfax connaît des écarts thermiques diurnes de plus en plus faibles.

L'analyse statistique des températures moyennes montre que pour la période de 1901-1985, ces températures accusent une nette tendance à l'augmentation. Le réchauffement annuel, à raison de 0,009 °C, est au demeurant hautement significatif.

La tendance générale significative vers le réchauffement affecte également les températures moyennes de l'automne, de l'hiver et aussi du printemps; c'est à dire les saisons fraîches et humides de l'année. Inversement, quelques signes de rafraîchissement thermique sont perceptibles en été. Il est donc permis de dire que l'on assiste à Sfax à une réduction de plus en plus sensible de l'amplitude moyenne annuelle. Cette tendance générale vers l'accroissement thermique a été par ailleurs confirmée par une analyse chronologique du coefficient de continentalité. Celle-ci montre une nette tendance générale vers la diminution.

L'application des mêmes procédures de traitement statistique aboutit, pour les pluies, à des résultats peu consistants. Si dans l'ensemble quelques signes d'augmentation sont parfois perceptibles, il n'en demeure pas moins que cette tendance générale positive reste extrêmement faible et sans signification statistique acceptable.

A une échelle régionale, c'est-à-dire au niveau de la région méditerranéenne, le rapport du "Working Group 1" (Houghton *et al.*, 1990) prévoit, dans le cadre de la "région 4" (Sud de l'Europe et Turquie : 35°-50°N et 10°-45°E), un réchauffement, à l'horizon 2030, d'environ 2°C en hiver et de 2 à 3°C en été. Ce réchauffement s'accompagne d'une légère augmentation des pluies en hiver, entre 0 et +10 pour cent, alors qu'en été, le changement pluviométrique serait entre -5 pour cent et +15 pour cent. Les pourcentages sont indiqués par rapport aux valeurs actuelles (durant les 3 ou 4 dernières décennies).

A une échelle globale, et d'après le scénario IPCC Global, le réchauffement global serait de 1,8°C à l'horizon 2030. Ce taux constitue la meilleure estimation actuelle. Pour l'an 2100, le réchauffement prévu serait entre +2°C et +5°C. Ce réchauffement s'accompagne d'une élévation sensible du niveau de la mer qui serait de +18 cm \pm 12 cm à l'horizon 2030 et de +65 cm \pm 35 cm vers la fin du siècle prochain (2100). Dans le même ordre d'idée, il est utile de rappeler que l'augmentation éventuelle du niveau de la mer résulte d'une expansion thermique, dans la mesure où l'augmentation des températures de surface aura pour effet de diminuer la densité de l'eau de mer et par conséquent d'augmenter le niveau marin.

En conclusion, on constate clairement que les estimations des changements climatiques prévus, établies à partir de modèles à hautes résolutions font apparaître des différences sensibles au niveau du réchauffement prévu, entre les trois échelles: locale, régionale et globale.

3.2. Lithosphère

La zone côtière de Sfax s'intègre dans la plate forme du Sahel. Ce dernier est considéré parmi les secteurs les plus stables dans l'histoire géodynamique régionale.

Concernant les fluctuations du niveau de la mer, celles-ci dépendent en général de plusieurs facteurs, notamment: la vitesse de subsidence, le taux de sédimentation et les apports terrigènes.

En ce qui concerne la subsidence, dans le Sahel tunisien, la phase du Quaternaire ancien, en l'occurrence compressive, garde ses caractères pendant tout le reste du Quaternaire jusqu'à l'époque actuelle (Kammoun, 1981). Outre cette évolution tectonique compressive quaternaire, le Sahel est une région de marge méditerranéenne, qui présente un comportement typique de "flexure" entre les fonds méditerranéens qui s'affaissent et un arrière pays qui monte (Boucard, 1960).

Cependant, le littoral de Sfax, objet de cette étude, fait partie du môle de Kerkennah, bordé au Nord par la vallée de Mehdiya et au Sud par les sillons de Chaffar et d'Ashtart. Ce plateau semble beaucoup moins subsident que les secteurs nord et sud. La vitesse de subsidence, en rapport étroit avec la néotectonique, dans ce secteur, reste à apprécier. Toutefois, cette faible ou légère subsidence pourrait contribuer à l'avancée du niveau marin relatif.

Pour le taux de sédimentation, il semble que le littoral de Sfax est le siège d'une production de dépôt carbonaté autochtone conduisant au remplissage du bassin. En cas de forte production, ce phénomène pourrait freiner l'avancée éventuelle de la mer. Cependant, nous ne disposons pas de données précises sur la vitesse de sédimentation, nous permettant d'affirmer cette hypothèse.

Quant aux apports terrigènes, et compte tenu du caractère semi-endoréique (exoréique uniquement lors des périodes de crues, qui restent très rares), ils sont très faibles et donc incapables de bloquer l'avancée de la mer.

En conclusion, en l'absence de données précises sur ces aspects (évolution de la subsidence, vitesse de sédimentation en fonction du temps et quantification des apports terrigènes), et compte tenu de la monotonie du relief et de la présence de zones relativement basses dans le littoral de Sfax (Figure 36) et en particulier dans les secteurs du Port et la zone industrielle nord (Figure 37), il apparaît qu'une éventuelle hausse importante du niveau de la mer pourrait conduire à des inondations touchants en particulier ces secteurs, qui se trouvent presque à la même altitude que le niveau de mer actuel.

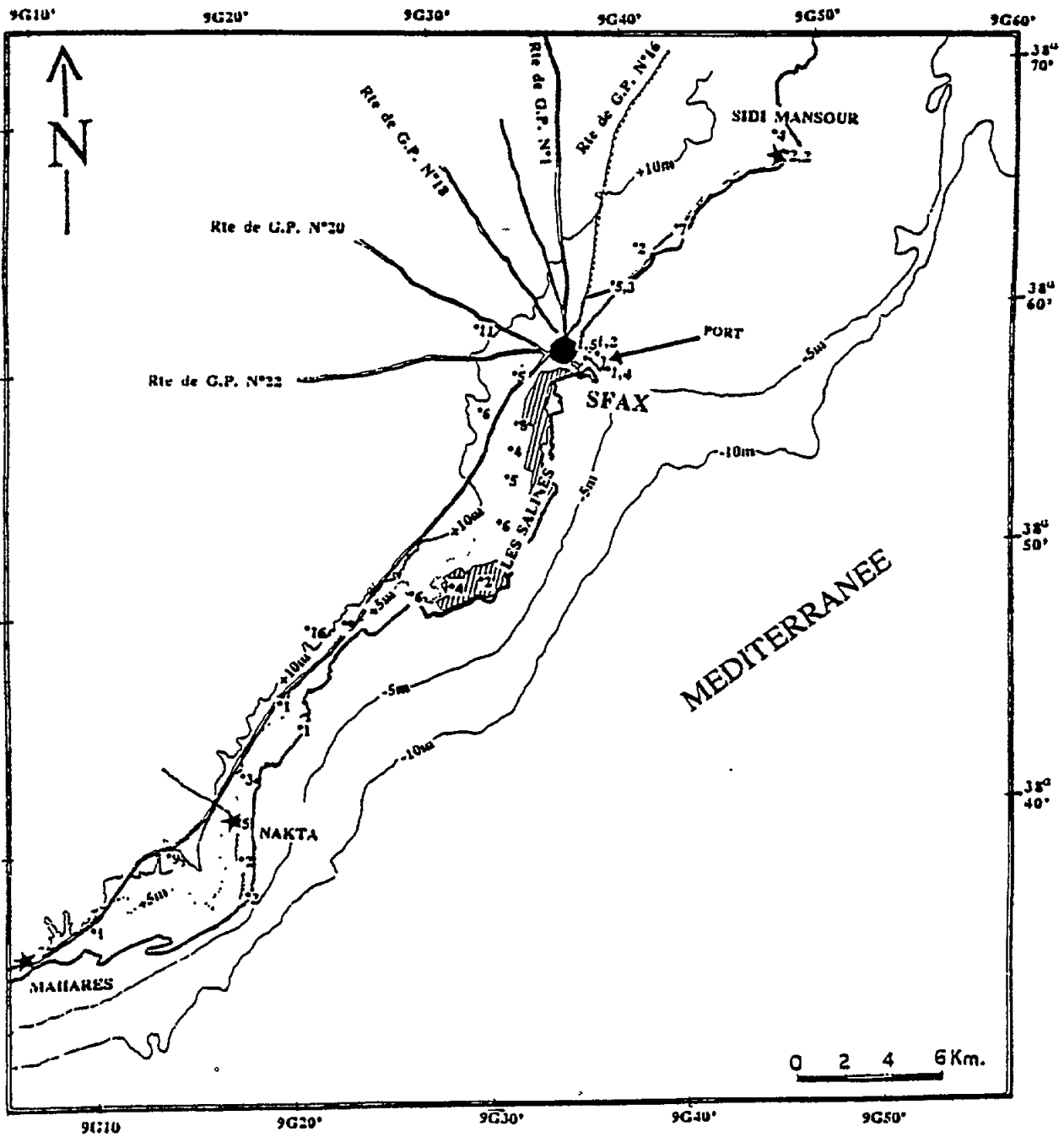


Figure 36 - Esquisse physiographique du secteur d'étude

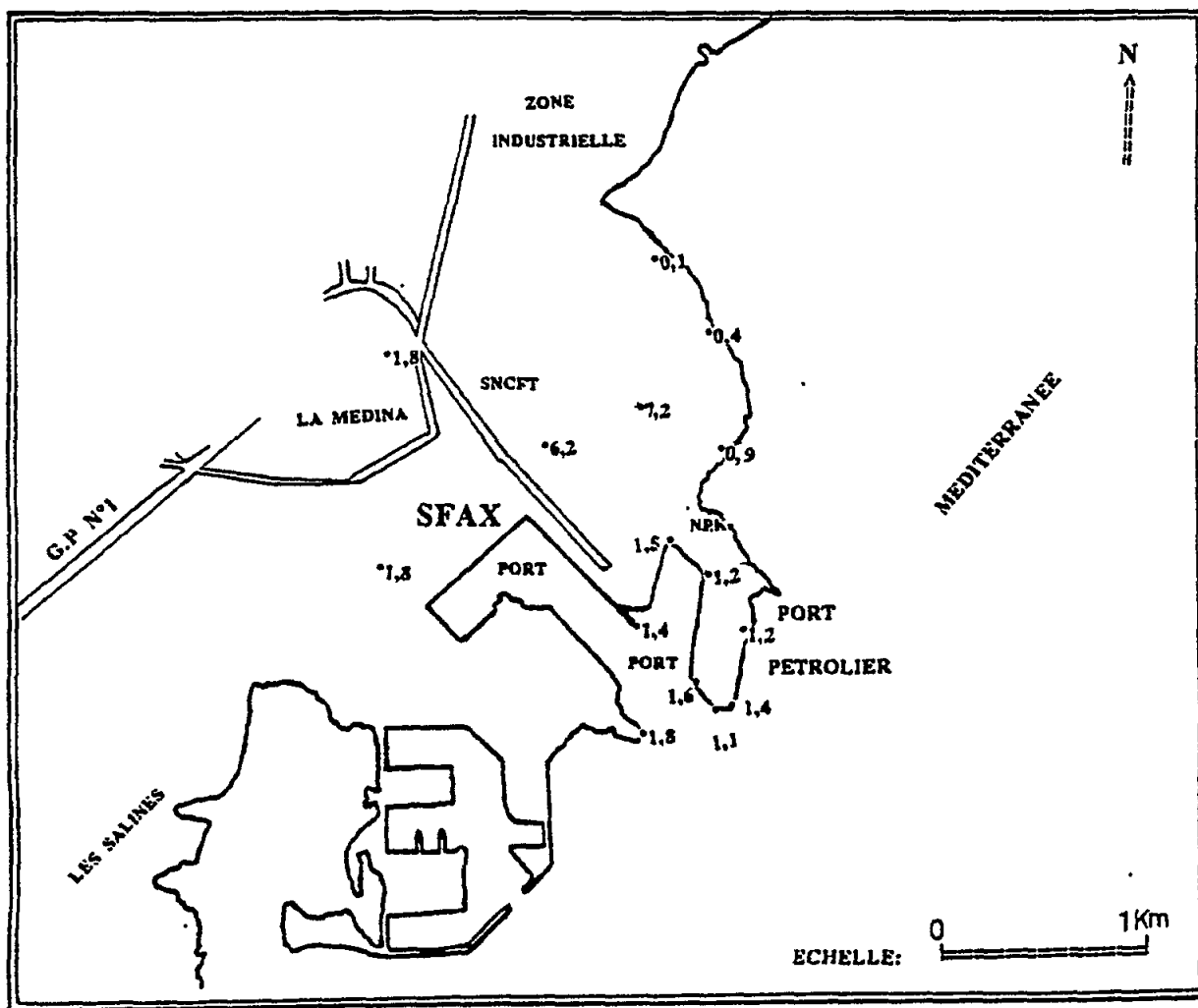


Figure 37 - Esquisse physiographique au niveau du Port de Sfax et de la zone industrielle nord

3.3. Hydrosphère

Sfax est soumise à un climat aride. Cette aridité conjuguée aux caprices du climat méditerranéen font de l'eau une source à la fois rare et mal répartie dans l'espace et dans le temps.

L'accroissement rapide de la demande en eau, notamment pour les besoins agricoles, domestiques, industriels et touristiques, a conduit à une exploitation excessive des nappes phréatiques avec l'implantation de nombreux puits de surface.

Compte tenu de la recharge relativement faible (précipitation moyenne annuelle de l'ordre de 220 mm; évaporation très forte de l'ordre de 1500 mm) et de la puissance limitée du réservoir aquifère, ces nappes littorales sont considérées comme aquifères secondaires.

Cette situation a conduit à une dégradation évidente, dans de nombreux secteurs, de la qualité chimique des eaux. Ceci se traduit par l'augmentation de la salinité et localement par le danger réel d'intrusion d'eau marine.

En effet, dans la région de Djebeniana, par exemple, située à 30 km au Nord de la zone d'étude, le suivi piézométrique depuis 1970 montre qu'à partir de 1980, on assiste à la création d'une zone de convergence des filets liquides au niveau de la région d'Ahzeg. Ce changement de direction d'écoulement à l'Est de Djebeniana s'explique par un appel d'eau dû à une intense exploitation locale. Dans ce secteur, l'exploitation incontrôlée de la nappe par la création de puits, n'a cessé de croître du fait de la faible profondeur du plan d'eau. Cette situation a évolué depuis et on note actuellement, dans les secteurs d'Ahzeg et Louza, un changement net du sens d'écoulement de la nappe. Celui-ci est devenu Sud Ouest - Nord Est à Est - Ouest. Le niveau piézométrique dans ces localités est situé en dessous du niveau général de la mer (-3m par rapport au niveau général de la mer). Cette situation critique favorise l'intrusion de l'eau de mer vers le continent et par conséquent la contamination des eaux de surface.

Cette situation pourrait être encore plus aggravée si le niveau de la mer s'élève, comme s'est prévu par les scénarios IPCC. Tout le littoral de Sfax pourrait être envahi par l'eau de mer et par conséquent les eaux de surface ne seront plus utilisables.

3.4. Ecosystèmes naturels et aménagés

3.4.1. Ecosystèmes terrestres et aménagés

Il faut en premier lieu signaler qu'au niveau climatique, Sfax se situe sous bioclimat méditerranéen aride, et plus exactement entre les sous-étages, supérieur et inférieur (Emberger, 1952). Le déficit pluviométrique s'échelonne donc sur environ 9 mois dans l'année, puisque la moyenne annuelle des précipitations est voisine de 200 mm alors que l'évapotranspiration potentiel (ETP) excède 1500 mm par année (Tableau 7).

Un accroissement potentiel de la température se traduira par une augmentation de l'ETP et par conséquent un accroissement de l'aridité édaphique, entraînant des modifications floristiques au sein des écosystèmes naturels et aménagés. Aussi, doit-on ajouter que l'influence de l'accroissement de l'aridité s'observe particulièrement en situation de faible recouvrement végétal, ce qui traduit une faible réflectance de la radiation solaire, engendrant d'avantage une augmentation de l'évaporation et par conséquent un déficit hydrique au niveau de la rhizosphère.

Au niveau pédologique, l'impact de l'augmentation de la température varie en fonction de la nature du substrat édaphique et plus particulièrement de la texture du sol. Ainsi, sur sol argileux, les répercussions de l'accroissement de la température sont plus néfastes que sur sol limoneux et plus encore sur sol sableux. Ceci influe le stock hydrique au point de fléchissement et par voie de conséquences, sur la disponibilité hydrique pour le végétal.

Pour le cas de Sfax, et compte tenu des valeurs avancées à partir des scénarios des changements climatiques proposés (à savoir une augmentation de 0,8 à 0,9°C pour la température et un accroissement de l'ordre de 6 à 9 pour cent pour les pluies), il apparaît que :

- L'accroissement modeste de la température, n'aurait probablement pas de grandes influences sur les écosystèmes naturels et aménagés. Les espèces végétales composant ces écosystèmes sont, rappelons-le, pour la plupart adaptées au bioclimat aride, caractérisé lui-même par des fluctuations normales, dépassant parfois amplement les valeurs prévues par les scénarios ci-dessus. Ainsi, toute la flore naturelle et aussi cultivée, supporte une telle augmentation thermique, sans subir aucun dégât biologique. En effet, le pouvoir photosynthétique des espèces végétales naturelles comme cultivées, ne pourra donc pas être affecté (de façon directe) par un accroissement de 0,8 à 0,9°C, dans la mesure où la plasticité génotypique de l'espèce du bioclimat aride, tolère sans le moindre dégât cette augmentation de température.
- Concernant l'augmentation proposée pour les pluies, il est vraisemblable que pour la région de Sfax, la végétation des écosystèmes naturels et aménagés est plutôt sensible aux variations des précipitations annuelles. Ainsi, en année pluvieuse, on observe une bonne croissance des espèces, provoquant un accroissement du couvert végétal notamment au sein des écosystèmes naturels. En revanche, en année sèche, la productivité biologique du milieu, en particulier aménagé, régresse considérablement. A juste titre durant l'année 1994-1995 qui est caractérisée pour la région de Sfax, par un déficit hydrique pluviométrique important, l'Olivier localisé sur les sols relativement lourds (argilo-limoneux), manifeste dès le mois de Mars 1995, des signes de dessèchement, risquant de s'aggraver en absence de précipitations durant les prochains mois.

3.4.2. Ecosystème marin

L'herbier de posidonie

L'herbier de posidonie *Posidonia oceanica*, bien qu'en régression, constitue l'élément essentiel de l'écosystème marin de la région.

En plus de la pollution et de l'activité de la pêche, le réchauffement de l'eau de mer constituerait un autre problème pour cette phanérogame et contribuerait d'avantage à sa régression. Des espèces thermophiles pourraient s'infiltrer et s'y installer en étant plus compétitives, on peut penser même à l'algue tropicale *Caulerpa taxifolia*.

Par ailleurs, il est connu que la croissance verticale de la posidonie est stoppée par le réchauffement de l'eau qui favorise aussi la multiplication sexuée au détriment de la multiplication végétative ce qui diminue l'extension de l'espèce. La disparition de telle structure pourrait entraîner celle de la communauté animale qui y vit. L'herbier constitue en effet une frayère et une nursery pour plusieurs espèces de poissons, de céphalopodes, de crustacés et autres; les feuilles de posidonie constituent pratiquement le seul support aux pontes des éponges dont plusieurs sont répandues dans la région et possèdent une importance économique.

Modifications faunistiques

Plusieurs espèces de la Mer rouge se sont introduites en Méditerranée y compris dans notre zone aux cours des dernières décennies et cette entrée se poursuit encore avec acclimatation de certaines espèces. De même, nous avons enregistré l'introduction d'une espèce de poisson du golfe de Guinée. Ces entrées d'espèces tropicales pourraient engendrer des changements dans les captures des pêches et des phénomènes de compétitivité; nous assistons actuellement à une pullulation d'une espèce de crevette originaire de la Mer rouge *Trachypenaeus curvirostris* qui semble prendre la place d'une crevette autochtone *Penaeus kerathurus* à valeur commerciale plus importante.

En outre, les changements climatiques pourraient bouleverser les routes migratoires de certaines espèces de poissons pélagiques tels que les thonidés.

Les blooms phytoplanctoniques

La pullulation d'organismes phytoplanctoniques, donnant naissance à ce qu'on appelle des eaux colorées ou eaux rouges, a une nette corrélation avec l'abondance des substances nutritives (notamment l'azote et le phosphore) dans le milieu et certains paramètres climatiques, en particulier les hautes températures et le fort ensoleillement. Ce phénomène connu d'habitude dans les milieux fermés comme les lacs et les lagunes, a gagné la mer. En effet, de 1988 à nos jours nous l'avons enregistré annuellement dans le golfe de Gabès. L'été, et l'automne 1994 ont été marqués par l'apparition d'une espèce de Dinoflagellés ichtyotoxique qui a engendré des mortalités importantes de poissons sur les côtes de Sfax. Ce phénomène a été entretenu principalement par les hautes températures enregistrées et l'enrichissement du milieu en phosphore et en matière organique d'une façon générale.

Dans le cas où les rejets industriels continuent à être déversés en mer et vu les caractéristiques morphologiques et hydrodynamiques de notre zone, les élévations de températures ne peuvent que développer et entretenir ce phénomène qui pourrait avoir des retombés négatifs sur le stock des poissons et par la même occasion sur l'activité de la pêche déjà en crise.

Les blooms à méduses

L'élévation de la température pourrait entraîner la pullulation de méduses. Les blooms de *Pelagia noctiluca* apparus de 1979 à 1984 sur les côtes françaises, en Adriatique, dans les eaux maltaises et grecques (Goy, 1984) ont été expliqués par un déficit de pluviométrie et une élévation de la température.

En Tunisie et plus précisément dans le golfe de Gabès, plusieurs poussées à méduses ont été enregistrées depuis 1988. Ces méduses gênent aussi bien les baigneurs que les pêcheurs.

L'élévation de la température reste l'un des facteurs les plus importants dans le développement de ces espèces. Elles ne stimulent pas seulement la reproduction mais règlent aussi les migrations saisonnières et journalières (Hamza, 1990).

3.5. Les activités socio-économiques

3.5.1. Energie et industrie

Un changement de climat futur de Sfax tel qu'il a été suggéré par le modèle de l'Université d'East Anglia (à savoir des augmentations de températures et de pluies, respectivement de 0,8°C à 0,9°C et 6 pour cent à 9 pour cent) n'entraînerait aucun effet perceptible pour l'industrie. Néanmoins, ce changement pourrait entraîner un accroissement légèrement plus accentué que prévu pour l'énergie et ce, entre autres, par la climatisation visant à atténuer les effets des chaleurs de l'été.

3.5.2. Tourisme

Sfax n'étant pas un pôle traditionnel touristique, les changements du climat ci-dessus évoqués n'auraient pratiquement aucun impact notable sur le tourisme.

3.5.3. Transports et services

Si l'augmentation de température prévue pour Sfax de part sa faiblesse (0,9°C) n'a que peu ou pas d'effet sur les transports et les services, celle concernant la pluviométrie (9 pour cent soit 20 mm d'eau supplémentaire) pourrait, par contre, engendrer une dynamique au niveau de l'agriculture essentiellement susceptible d'avoir des effets d'entraînement sur les transports et les services d'accompagnement.

3.5.4. Assainissement et santé

Les changements de climat prévus n'entraînent vraisemblablement pas de modification dans les prévisions en matière d'assainissement et de santé. L'amélioration de la pluviométrie, dans le contexte de Sfax, ne peut avoir que des effets bénéfiques aussi bien pour le cadre de vie en général que pour la santé proprement dite. Il demeure que l'élévation du niveau de la mer de 30 cm environ pour l'horizon 2100 entraîne un rehaussement similaire du niveau piézométrique de la nappe phréatique qui affleure déjà dans diverses zones de Sfax. Il en résulte des difficultés supplémentaires en matière de drainage de la ville (plus particulièrement pour les eaux pluviales) et une amplification du phénomène de remontées capillaires accentuant ainsi l'humidité dans les constructions.

3.5.5. Population et logement

Le climat à Sfax connaît des amplitudes thermiques saisonnières importantes (pouvant atteindre 40°C) et journalières (15°C et plus). Par conséquent, une faible augmentation, à très long terme (2030) de 1°C, n'aurait pratiquement que très peu d'effet sur la population et ses mouvements ainsi que sur les logements. L'amélioration de la pluviométrie toujours souhaitée par la population n'aurait à son tour aucun impact sur les logements.

4. RECOMMANDATIONS

4.1. Options appropriées proposées dans le cadre de cette étude

4.1.1. Atmosphère

Lors du traitement des données météorologiques "officielles" disponibles sur le littoral de Sfax, il a été constaté que plusieurs d'entre elles ont un faible degré de fiabilité. Ainsi, un contrôle rigoureux de ces données a été absolument nécessaire pour l'établissement des futurs scénarios.

D'autre part, la variabilité des données climatiques, caractéristique fondamentale du climat en Tunisie rend encore difficile l'interprétation des moyennes retenues en terme de scénarios futurs.

Tout en tenant compte à la fois, de ces nombreuses difficultés (fiabilité et variabilité des données) et des nombreuses incertitudes qui caractérisent encore les modèles climatiques et les scénarios qui leur sont associés, il semble que tout propos sur les impacts éventuels des changements climatiques et leurs conséquences risque d'être de caractère spéculatif.

Par conséquent, des efforts supplémentaires sont encore nécessaires en vue d'assurer une meilleure connaissance du climat passé et actuel de la région de Sfax d'autant plus que les changements détectés risquent de s'inscrire dans le cadre de la "variabilité naturelle" du climat. Pour ce faire, il est nécessaire, voire impératif, de garantir un accès plus facile et plus convenable aux données météorologiques qui devraient être soumises, au préalable, à toute une procédure de contrôle de qualité.

4.1.2. Lithosphère

Pour une meilleure appréhension de l'impact d'une éventuelle remontée de la mer, il est fortement conseillé d'entreprendre des études sur la dynamique littorale de la zone d'étude permettant de proposer un scénario évolutif qui tiendrait compte des effets interactifs (subsidence-sédimentation-climat).

4.1.3. Hydrosphère

La surexploitation des nappes phréatiques du littoral de Sfax, et en particulier les aquifères situés au Nord du secteur d'étude, a conduit à une situation menaçante d'invasion d'eau de mer. Si le niveau général des mers s'élève, cette situation pourrait s'aggraver d'avantage en conduisant à une contamination générale des eaux de surface.

Pour remédier à ce problème déjà posé par endroits, il faudra inciter les agriculteurs à fournir aux plantes leurs besoins réels en eau, notamment à l'intérieur des zones à risque d'intrusion marine, et à choisir correctement les secteurs pour l'implantation des périmètres irrigués.

D'autre part, il faudra que les autorités agricoles multiplient les actions CES (Conservation Eau et Sol), déjà bien avancées dans quelques localités, afin de mobiliser d'avantage les eaux de ruissellement.

En outre, la recharge de la nappe phréatique à partir de la nappe profonde s'avère nécessaire pour lutter contre la baisse du niveau piézométrique et la dégradation de la qualité chimique des eaux.

4.1.4. Ecosystèmes naturels et aménagés

4.1.4.1. Ecosystème terrestre et aménagé

La corrélation entre l'augmentation des précipitations annuelles de 6 à 9 pour cent et celle de la température de 0,8 à 0,9 °C serait donc sans effet néfaste sur la flore naturelle et cultivée. Elle est plutôt considérée comme bénéfique pour ces espèces végétales. Ainsi, considérant que la flore naturelle et cultivée de la région de Sfax est approximativement composée de 50 pour cent d'espèces de type biochimique de photosynthèse en C₃ (qui ont un optimum de température de photosynthèse de 20 à 25°C) et 50 pour cent d'espèces de type biochimique de photosynthèse en C₄ (qui ont un optimum de température de photosynthèse de 30 à 35°C), le changement climatique prévu par les scénarios, mentionnés ci-dessus pour la région de Sfax, est même au profit de la végétation. Pour de telles valeurs, on peut se permettre de les considérer comme profitable pour les écosystèmes naturels et aménagés. Toutefois, il faut veiller à ce que ce seuil de changement climatique, en particulier l'accroissement de la température, ne soit pas dépassé pour que l'impact reste positif. En effet, au delà de ce seuil, de graves répercussions au niveau du comportement de la plante et du sol seraient prévisibles.

Donc pour la zone littorale de Sfax, le risque potentiel du changement climatique prévu, n'aurait pas de graves répercussions sur la végétation naturelle et cultivée, ni d'ailleurs sur la lithosphère.

Toutefois, il faut rappeler que les spécialistes des questions bioclimatiques s'accordent sur l'impact des éventuels changements climatiques sur l'élévation du niveau des océans. Une telle élévation peut dans le cas du littoral sfaxien avoir des répercussions néfastes tant au niveau des écosystèmes naturels, qu'aménagés. On assistera, notamment en situation côtière de faible altitude à une "interpénétration gravitaire" de l'eau de mer dans la masse continentale. La salinisation de l'hydrosphère et de la géosphère dans la couche du sol où se localisent les racines des plantes spontanées et cultivées affecterait indiscutablement la croissance biologique des plantes, provoquant par la suite leur mort. Pour pallier à ce risque, il est recommandé d'envisager:

- Le reboisement du littoral avec des espèces aptes à supporter des teneurs élevées en NaCl. A titre d'exemple, le genre *Tamaris* est réputé par cette qualité. La végétation en place doit être préservée de toute action de dégradation.
- Interdire les nouvelles actions de mise en valeur agricole dans la zone menacée d'intrusion marine.
- Faire des observations périodiques de la végétation naturelle et cultivée. La physionomie et la dynamique de la végétation (état général des individus, disparition et apparition de nouveaux individus, etc.) constitue un indicateur biologique pertinent du mouvement du niveau de la mer.
- Etudier l'impact de la pollution atmosphérique sur la biologie des espèces végétales des écosystèmes naturels et aménagés. Des observations de la teneur en fluor ainsi qu'en métaux lourds, des espèces peuvent être réalisées. Les résultats de telles observations, permettent par la suite de prévoir des plantations résistantes à la pollution à proximité des usines. Ceci concernera d'ailleurs tout le littoral entre les villes de Sfax et Gabès.

4.1.4.2. Ecosystème marin

Les seules recommandations que nous pouvons évoquer dans ce contexte se résument ainsi:

- Arrêt des rejets de phosphogypse en mer pour éviter un enrichissement des eaux en phosphore et diminuer la turbidité des eaux. Cette mesure pourrait diminuer le développement phytoplanctonique et améliorer l'état de santé du couvert végétal.

- Traiter toutes les eaux des rejets domestiques et industriels;
- Interdire l'emploi des engins de pêche traînant sur les faibles profondeurs et sur l'herbier de posidonie pour éviter le remuement continu du fond et le démantèlement de l'herbier qui enrichit d'avantage le milieu en matière organique;
- Maintenir une exploitation rationnelle des ressources halieutiques pour éviter une surexploitation du stock et surtout la raréfaction de certaines espèces qui peuvent devenir en danger à la suite d'une éventuelle concurrence d'espèces originaires de la mer rouge et engendrer des changements dans les captures non désirables sur le plan économique.

4.1.5. Activités socio-économiques

4.1.5.1. Energie et industrie

Même si les modifications climatiques escomptées pour la zone de Sfax n'ont pratiquement pas d'effets aussi bien sur l'industrie que sur l'énergie, il demeure qu'une éco-exploitation du pétrole serait de rigueur d'autant plus que les risques déjà encourus par la présence d'une zone épicerale de stockage de carburant (une trentaine d'hectares) ont commencé à sensibiliser bon nombre d'acteurs qui cherchent à se prémunir aujourd'hui.

Etant donné la modestie des ressources pétrolières de la région et celles du pays, une sensibilisation des consommateurs à l'économie d'énergie est indispensable. De même la recherche d'énergie de substitution: énergie solaire (300 journées du soleil par an) éolienne (importance des fréquences des vents) et maritime (importance du linéaire côtier) est plus que nécessaire.

4.1.5.2. Tourisme

Le scénario de changement du climat retenu pour la zone de Sfax n'implique aucune recommandation particulière quant à un éventuel développement du tourisme (éventuellement d'affaires et culturel) dans cette ville.

Cependant, dans le cas où la région connaîtra dans les années qui viennent un développement rapide du secteur touristique, les autorisations accordées pour la construction de nouveaux hôtels et en particulier ceux situés à proximité du littoral, doivent tenir compte, surtout d'une éventuelle hausse du niveau de la mer afin d'éviter les risques d'inondations.

4.1.5.3. Transports et services

Ces secteurs connaîtront à très long terme des développements importants. Les autorités publics seront amenées à doubler la voie ferrée qui relie Tunis à Gabès via Sfax. Toute initiative dans ce sens doit impérativement tenir compte à la fois d'une éventuelle augmentation des précipitations conduisant parfois à des inondations et d'une élévation du niveau marin en particulier lorsque des portions des voies ferrées longent le littoral.

4.1.5.4. Assainissement et santé

L'augmentation des volumes pluviométriques corrélée à la densification urbaine de Grand Sfax nécessitent la poursuite des efforts déployés jusqu'à présent en matière d'assainissement en vue de généraliser le "tout à l'égout".

Malgré l'intensification des actions de branchements d'assainissement (ONAS) réalisées ces dernières années (taux de l'ordre de 40 pour cent), il demeure cependant que ce taux est faible. Cette situation de branchement partiel contribue à la pollution de la nappe phréatique de Sfax car cette dernière reçoit environ les 2/3 des eaux usées domestiques par le biais des puits perdus. Cette situation est d'avantage aggravée par la prolifération des constructions dans les zones ex-jardins de Sfax. Par conséquent, il est très urgent de poursuivre en accentuant cet effort, déjà engagé par l'ONAS, en vue de généraliser l'extension du réseau sur l'ensemble du Grand Sfax.

En ce qui concerne la santé, la pollution atmosphérique due aux rejets industriels et en particulier par l'usine de la Siape, est évidente. En effet, des mesures, par exemple, en SO₂, CO₂, fluor et aérosols au niveau de quelques sources révèlent une charge certaine avec toutefois des teneurs minimales. La présence de ces éléments chimiques, couplés à une éventuelle augmentation de la température dans la région de Sfax, pourrait conduire à l'installation d'une atmosphère plus lourde et par conséquent à la prolifération de maladies allergiques et cancérogènes.

Ainsi, une étude serait tout à fait souhaitable permettant une cartographie des maladies et des malades en essayant de se faire une idée sur la population touchée (âge, métier, niveau social etc...). Cette étude préliminaire pourra orienter le corps médical à proposer des solutions adéquates.

4.1.5.5. Population et logement

Le changement de température prévu à très long terme pour le Grand Sfax n'aura aucun effet perceptible sur la population et ses comportements. L'augmentation des précipitations milite pour une généralisation des citernes (réserves collectant les eaux pluviales des terrasses) dans les logements et ce pour les besoins domestiques. En outre, la rationalisation et l'économie de l'eau, ressource devenant de plus en plus rare, sont recommandables.

Il est par ailleurs recommandé de tenir compte de l'élévation du niveau piézométrique de la nappe de Sfax lors des constructions en surélevant les niveaux des rez-de-chaussée et en utilisant des matériaux adéquats pour les fondations.

4.2. Suggestions pour le suivi de cette étude

En conclusion, et à l'issue de cette étude dont le but est l'identification et l'évaluation des implications possibles des changements climatiques attendus sur les écosystèmes terrestres, aquatiques et marin et les activités socio-économiques sur la zone côtière de Sfax, nous sommes en mesure d'avancer quelques suggestions.

En ce qui concerne le volet climatologique de cette étude:

- Parce qu'elle fait toujours défaut, une synthèse sur le climat de la Tunisie paraît nécessaire dans la mesure où elle peut servir de base à toute étude de climat ou d'environnement. Dans cet ordre d'idée, l'élaboration d'un atlas climatique de la Tunisie est à encourager fortement.
- L'histoire récente et ancienne du climat en Tunisie demeure inconnue. Des programmes de recherches sur ce sujet sont appelés à être soutenus et encouragés par tous les moyens nécessaires.
- En outre, au cours des dernières décennies, la Tunisie a connu des manifestations climatiques extrêmes (inondations, sécheresses, vagues de chaleur, etc.) qui ont eu des conséquences très importantes tant sur l'homme que sur son environnement. Des études sur les incidences du climat en Tunisie seraient par conséquent très utiles.

- Pour proposer des solutions aux problèmes restant sans réponses en matière de climat, il est indispensable d'installer des stations capables de fournir des données régulières en particulier sur: la pression, la pluviosité, la température, l'insolation, le rayonnement infrarouge du sol, les vents et l'humidité de l'air.

Par ailleurs, nombreuses industries dans la région de Sfax produisent dans l'atmosphère des émissions de gaz (CO_2 , SO_2 , SO_3 , NO_2 , etc...). Une partie de ces gaz, en présence de la vapeur d'eau atmosphérique, pourrait conduire à la formation d'acides (sulfurique, phosphorique et nitrique).

Ces gaz et acides, associés aux aérosols atmosphériques et en particulier ceux d'origine anthropique (riches en métaux lourds) rendent l'atmosphère très chargée et polluée. De ce fait, et dans le cas où le nombre de ces éléments chimiques est important, ces derniers pourraient jouer le rôle d'écran ou mieux de "filtre" en arrêtant certaines radiations solaires de longueur d'ondes bien précises et en laissant passer d'autres. Ce "nuage" de gaz industriel, associé à une hausse de température, même faible (suggéré par le scénario climatique sur Sfax), accroît l'effet de serre, d'une part, et pourrait produire des problèmes de santé, d'autre part.

De plus, les acides formés dans l'atmosphère peuvent attaquer les constructions et les arbres et en particulier celles situées à proximité des sources d'émissions. Pour remédier à cette situation critique, nous suggérons:

- Des actions au niveau des sources d'émissions polluantes en proposant des moyens de traitement des fumées par diverses méthodologies (laveurs de gaz par barbotage ou par aspiration).
- Installations de réseaux de surveillances au niveau des secteurs industriels associés à des témoins pour mieux apprécier le taux de pollution.
- Prendre des mesures très urgentes pour épargner notre atmosphère des gaz mis en circulation dans l'air à partir d'échappement des voitures. Ceci est facile à décrypter lors des contrôles techniques des véhicules. Des mesures conservatoires énergétiques sont à prendre par les pouvoirs publics pour minimiser ces excès.
- Sensibiliser d'avantage les industriels en les incitant à respecter vigoureusement l'environnement et les normes en vigueur.

Quant aux problèmes liés aux différents écosystèmes, différentes études sont appelées à être encouragées et soutenues par les établissements nationaux et les organismes internationaux pour minimiser les incertitudes qui subsistent encore et combler le manque de données afin d'avancer des propositions réalistes et rationnelles. En effet, nous suggérons d'entreprendre une étude détaillée sur la dynamique littorale de la région de Sfax permettant de comprendre les mécanismes qui régissent les fluctuations du niveau de la mer et en particulier les interactions entre la vitesse de subsidence, le taux de sédimentation et les apports terrigènes. La quantification précise de ces différents processus conduira à mieux apprécier l'évolution future éventuelle du niveau de la mer et de proposer des scénarios dans ce sens.

Cependant, pour les zones basses menacées par une intrusion marine et en particulier les secteurs du Port et la zone industrielle nord (Figure 37), des solutions à court terme pourraient être prises. En effet, il est nécessaire:

- de protéger ce secteur par des constructions de "digues" tout en tenant compte de la variation du sens des courants;

- de lancer une action sur l'évaluation et la gestion des ressources en eau de la région de Sfax (nappe de surface et souterraine), afin de répondre à une demande de plus en plus croissante causée notamment par les transformations démographiques et économiques, sans toutefois compromettre la qualité des eaux et le danger réel d'intrusion d'eau de mer.

Enfin, compte tenu de l'importance stratégique d'une telle étude, il est à notre avis conseillé, de l'élargir sur l'ensemble de la zone littorale entre les villes de Sfax et Gabès. Cette portion du territoire qui regroupe l'ensemble des installations du groupe chimique tunisien, manifeste un contraste écologique et socio-économique, très révélateur d'éventuel changement climatique.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANPE (1991). Etude de Définition pour la Protection de l'Environnement dans la Région de Sfax. Agence Nationale de Protection de l'Environnement, SERAH, Tunis, July 1991.
- AMARI, A. (1984). Contribution à la Connaissance Hydrologique et Sédimentologique de la Plate-forme des Kerkennah. Thèse de 3ème cycle. Faculté des Sciences de Tunis. 169pp.
- AMOURI, M. (1994). Ressources en Eaux dans le Gouvernorat de Sfax. Rapport Interne, DRES, Tunis.
- API, (1990). Etat des Projets Industriels à Sfax. Agence de Promotion des Investissements, Direction de Sfax, Tunis. August 1990.
- BENI AKHY, R. (1994). Etude de l'Evolution et Modélisation Mathématique de la Nappe Phréatique Urbaine de Sfax. D.E.A., Faculté des Sciences, Tunis. 116pp.
- BEN DHIA, H. CHALBAOUI, M. et TRABELSI, H. (1990). Intéraction sol-eau et urbanisation, cas de la ville de Sfax. Symposium international AIGE, 9-13 Avril 1990. Yamoussoukro. Problèmes de Géologie de l'Ingénieur dans les Sols Structurés.
- BEN MARIEM, S. et GHARBI, H. (1988). Analyse préliminaire des résultats de chalutage du "Hannoun" dans le golfe de Gabès (du 2 au 22 août 1988). Rapp. Doc. Inst. Nat. Scient. Tech. Océanogr. Pêche. Salammbô, 3:1-34.
- BEN MUSTAPHA, K. et HATTOUR, A. (1992). Les herbiers de posidonie du littoral tunisien. I. Le golfe de Hammamet. Notes Inst. Nat. Scient. Tech. Océanogr. Pêche. Salammbô, (2): 1-40.
- BEN OTHMAN, S. (1973). Le Sud Tunisien (Golfe de Gabès) : Hydrologie, Sédimentologie, Flore et Faune. Thèse de 3ème cycle. Faculté des Sciences de Tunis. 166pp.
- BONNET, M. (1980). Contribution à l'inventaire des ressources chalutables au large de la Tunisie - campagne de prospection de "La Pélagia" (26 avril au 1 juin 1979). Science et Pêche, Bull. Inst. Pêches Marit., 299:1-24.
- BOUCARD (1960). La Méditerranée et la révolution du Pliocène. Livre à la mémoire du P.P. FALLOT, tome 1:103-116.
- BOUSNINA, A. (1977). Les Précipitations Pluvieuses dans le Sud-Est Tunisien. Mémoire de C.A.R. 150pp. (ronéo).
- BOUSNINA, A. (1986). Variabilité des Pluies en Tunisie. Publ. Univ. Tunis, Sér. Géographie, 22:308pp.
- BOUSNINA, A. (1988). Contribution à l'étude des variations et de la variabilité des températures moyennes à Tunis: 1888-1987. Revue Méditerranée, 2:67-78.
- BOUSNINA, A. (1992). Variations et Variabilité des Températures en Tunisie : 1901-85. 4 Volumes, xii + 1164pp. (ronéo).
- BOUSNINA, A. (1995). Les Changements Climatiques à Sfax: Situation Actuelle et Perspectives de Demain.
- BRADAI, M. N. (1995). Impact de la pêche sur la tortue marine *Caretta caretta* sur les côtes sud-est du golfe de Gabès. Rapp. Comm. Int. Explor. Mer Medit., 34.

- BRADAI, M. N. et BOUAIN, A. (1994). La Mer : Ressources et Problèmes. Association de la Protection de l'Environnement de Sfax. 291pp.
- BRADAI, M. N., GHORBEL, M. et BOUAIN, A. (1993). Premières observations dans le golfe de Gabès (Tunisie) de *Spheroides cutaneus* (Tetraodontidæ). *Cybium*, 17(1):86.
- BRADAI, M. N., GHORBEL, M., BOUAIN, A. et ABDELMOULEH, A. (1994, sous presse). Observations ichtyologiques effectuées dans le golfe de Gabès . *Bull. Inst. Nat. Scient. Tech. Océanogr. Pêche, Salammbô*.
- BRANDHORST, W. (1977). Les conditions de milieu au large de la côte tunisienne. *Bull. Inst. Nat. Scient. Tech. Océanogr. Pêche, Salammbô*. 4(2-4):129-220.
- CHAKER, K., DAOUD, A., CHARFI, F., DLINSI, H. et REKIK, A. (1995). Rapport APNES du projet du Parc National de Thyna. Phase 2: Aménagement de la Zone. Projet FEM/ONG-TUN/92/GTI, APNES. 62pp.
- DE GAILLANDE, D. (1970). Peuplements benthiques de l'herbier de *Posidonia oceanica* Delile, de la pelouse à *Caulerpa prolifera* Lamouroux et du large du golfe de Gabès. *Tethys*, 2(2):373-384.
- DRES (1973). Carte Pédologique de la Tunisie. Echelle 1:50 000. Direction des Ressources en Sol (DRES), Ministère de l'Agriculture.
- DGPA (1993). Annuaire des Statistiques des Produits de la Pêche en Tunisie. Ministère de l'Agriculture.
- EL CAFSI, M. A. (1988). Contribution à l'Etude de la Structure Spatiale de l'Insolation en Tunisie. Mémoire de D.E.A. de Physique, 143pp.
- EL HABAÏB, A. et KARRAY, N. (1994). Programmes d'Aménagement Côtier de la Zone de Sfax. Plan d'Action pour la Méditerranée, PNUÉ, Athènes.
- EMBERGER, L. (1952). Sur le quotient pluviométrique. *Comptes-rendus Acad. Sci. Fran.*, 234: 2508-2510.
- ENPE (1989). Enquête nationale de la population et de l'emploi. Institut National des Statistiques.
- FOREST, J. et GUINOT, D. (1956). Sur une collection de décapodes et crustacés stomatopodes des mers tunisiennes. *Bull. Stat. Océanogr. Salammbô*, (53):24-43.
- GOVERNORAT DE SFAX (1991). Le VIII Plan de Développement Economique et Social (PDES, 1992-1996). Rapport de la Commission Régionale de Sfax. Sfax, juin 1991.
- GOY, J. (1984). Fluctuations climatiques de la scyphoméduse *Pelagia noctiluca* (Forsk., 1775). *Comptes-rendus Acad. Sci., France*, t.299, Série III, 12:507-510.
- GRUVEL, A. (1926). L'industrie des pêches sur les côtes tunisiennes. *Bull. Stn. Océanogr. Salammbô*, 4:1-135.
- HAIJEM, A. (1980). Etude Hydrogéologique de la Région de Sidi Abid. Rapport interne, 8:632pp. Direction des Ressources en Sol (DRES), Ministère de l'Agriculture.
- HAIJEM, A. (1985). Etude Hydrogéologique Préliminaire de la Nappe de Chaffar (Sahel, Sud de Sfax).
- HAIJEM, A. (1989). Note sur les Ressources et l'Exploitation des Nappes du Gouvernorat de Sfax. Rapport interne, Direction des Ressources en Sol (DRES), Ministère de l'Agriculture.

- HAMEL, G. (1926). Quelques algues rares ou nouvelles pour la flore méditerranéenne. Bull. Mus. Hist. Nat., Paris, 32(6):420.
- HAMZA, A. (1990). Sur la prolifération des méduses sur certaines côtes tunisiennes. Rapp. Doc. Inst. Nat. Scient. Tech. Océanogr. Pêche, Salammbô.
- HAMZA, A. and BRADAI, M. N. (1994). Sur la floraison et la fructification de deux phanérogames marines sur les côtes sud-est de la Tunisie (golfe de Gabès). Mar. Life, 4(1):1-4.
- HAMZA, A. et EL ABED (in press). Les eaux colorées dans le golfe de Gabès: bilan de six ans de surveillance. Bull. INSTOP. Institut National Scientifique et Technique de l'Océanographie et de la Pêche, Tunis.
- HAMZA, A., BRADAI, M. N., GHORBEL, M. et ABDELMOULEH, A. (1995). Les marées vertes sur les côtes nord de Sfax. Rapp. Comm. Int. Mer Médit., 34.
- HOUGHTON, J.T., JENKINS, G.J. et EPHRAUMS, J.J. (eds.) (1990). Climate Change. The International Panel on Climatic Change (IPCC) Scientific Assessment. Cambridge University Press. 365pp.
- HOUGHTON, J.T., CALLANDER, B.A. et VARNEY, S.K. (Eds) (1992). Climate Change 1992. The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment. Cambridge University Press. 200pp.
- ILLY, P. (1968). Région de Sidi Mehedeb. Etude Hydrogéologique Préliminaire. Direction des Ressources en Sol (DRES), Ministère de l'Agriculture, Sfax.
- INM (1983). Les Inondations d'Octobre 1982 à Sfax : Analyse Synoptique et Climatologique. Tunis. Institut National de Météorologie. 41pp.
- INS (1975). Recensement Général de la Population et de l'Habitat. Institut National des Statistiques, Tunis. 8 mai 1975.
- INS. La Tunisie en Chiffres (collection). Institut National des Statistiques, Tunis.
- INS. Annuaire Statistique de la Tunisie (collection). Institut National des Statistiques, Tunis.
- INS. Bulletin Mensuel de Statistiques (collection). Institut National des Statistiques, Tunis.
- JEGUIRIM, H. (1992). La Pluviométrie dans le Sahel Tunisien. Mémoire de C.A.R., Faculté des Sciences Humaines. Société Géographique, 218pp. (ronéo).
- KAMMOUN, Y. (1981). Néotectonique dans le domaine du Sahel (Tunisie orientale). Dans : Actes du Premier Congrès National des Sciences de la Terre (Tunis, septembre 1981).
- KTARI-CHAKROUN, F. et AZOUZ, A. (1971). Les fonds chalutables de la région sud-est de la Tunisie (golfe de Gabès). Bull. Inst. Océanogr. Pêche, Salammbô, 2(1):5-48.
- KTARI, F. et KTARI, M. H. (1974). Présence dans le golfe de Gabès de *S. luridus* (Rüppel, 1828) et de *S. rivulatus* (Forsk., 1775) (poisson, Siganidæ) parasités par *Pseudohaliotrema* *polymorphus*. Bull. Inst. Nat. Scient. Tech. Océanogr. Pêche, Salammbô, 3(1-4):95-98.
- LABBE, A. (1950). Plantes spontanées de Tunisie, à floraison estivale. Bull. Serv. Bota. Agro. de Tunisie, 20:26pp.
- LE DANOIS, E. (1925). Recherche sur les fonds chalutables des côtes de Tunisie (croisière du chalutier "Tanche" en 1924) Ann. Sta. Océanogr. Salammbô, 1:56pp + figs. et 1 carte.

- LE HOUEROU, H. N. (1959). Recherches Ecologiques et Floristiques sur la Végétation de la Tunisie méridionale. Inst. de Rech. Sah. Alger., Mémoire h.s., 510pp.
- LE HOUEROU, H. N. (1969). La végétation de la Tunisie steppique (avec référence aux végétations analogues d'Algérie, de Libye et du Maroc). Ann. Inst. Nat. Rech. Agro. Tunisie, 42(5):624pp.
- LONG, G. (1949). Etude partielle de la bordure occidentale de la forêt sfaxienne: groupements végétaux, sols et vocations agricoles. Ann. Serv. Bot. Agron. Tunis, 22:197-220 + 1 colour map.
- LONG, G. (1954). Contribution à l'Etude de la Végétation de la Tunisie Centrale. Ann. Serv. Bot. Agron. Tunis, 27:388pp. + 1 colour map, scale 1:200 000.
- MALIKI, M.-Y. A. (1994). Etude Hydrochimique et Isotopique des Nappes Phréatiques de Skhira et de Djebeniana et de la Nappe Profonde de Sfax. D.E.A. Fac. Sc. Tunis. 127pp.
- MEH (1983). Protection de la Ville de Sfax contre les Inondations. Ministère de l'Equipement et de l'Habitat, SOGREAH, juin 1983.
- MELICE, J.L. et WENDLER, G. (1984). Precipitation statistics in southern Tunisia: a contribution to the desertification problem in the Sahel zone. Arch. Met. Geoph. Biokl. B33:331-348.
- MPDDR (1994). Rapport du Suivi du Développement du Gouvernorat de Sfax. Cellule de Planification de Sfax. Ministère du Plan et du Développement et du Développement Regional, avril 1994.
- MOLINIER, R. et PICARD, J. (1954). Eléments de bionomie marine sur les côtes de Tunisie. Bull. Stat. Océanogr. Salammbô, 48:1-47.
- MUNICIPALITE DE SFAX (1993). Le Plan Directeur des Transports du Grand Sfax. SIDES-ETAU-BCEOM, Rapport de Synthèse.
- NAJAI, S. (1983). Contribution à l'Etude de la Biologie des Espèces des Céphalopodes de Tunisie : Application à l'Espèce *Sepia officinalis* Linné, 1758. Thèse 3e cycle Fac. Sci. de Tunis.
- PALUTIKOF, J.P., GUO, X., WIGLEY, T.M.L. et GREGORY, J.M. (1992). Regional Changes in Climate in the Mediterranean Basin due to Global Greenhouse Gas Warming. MAP Technical Reports Series No. 66. UNEP, Athens.
- PÉRÈS, J. M. et PICARD, J. (1964). Nouveau manuel de bionomie benthique de la mer Méditerranée. Recueil des Travaux de la Station Marine d'Endoume, Bull. 31(47):5-214.
- POIZAT, C. (1970). Hydrodynamisme et sédimentation dans le golfe de Gabès (Tunisie). Tethys, 2(1):267-296.
- RAUNKIAER, C. (1934). Life Forms and Statical Plant Geography. Clarendon Press, Oxford. 632pp. + 189 photos + figure.
- REVUE TUNISIENNE DE L'ENERGIE. No. 29 (1993).
- RGPH (1975). Recensement Général de la Population et de l'Emploi, 1975. Institut National de Statistiques.
- RGPH (1984). Recensement Général de la Population et de l'Emploi, 1984. Institut National de Statistiques.

- RGPH (1994). Recensement Général de la Population et de l'Emploi, 1994. Institut National de Statistiques.
- SAIDI, H. (1976). La Grêle en Tunisie. Institut National de Météorologie, Tunis. 117pp.
- SARBEGI, M. (1991). Contribution à l'Etude de l'Impact des Rejets Industriels et Urbains sur l'Environnement Marin de la Région de Sfax. Essais de Traitements. D.E.A., Université de Tunis, 2:139pp.
- SEURAT, L. G. (1929). Observations sur les limites, les faciès et les associations animales de l'étage intercotidal de la petite Syrte (golfe de Gabès). Bull. Stat. Océanogr. Salammbô, 3:1-72 + 1 carte.
- SEURAT, L. G. (1929). Observations nouvelles sur le faciès et les associations animales de l'étage intercotidal de la petite Syrte (golfe de Gabès). Bull. Stat. Océanogr. Salammbô, 12.
- SEURAT, L. G. (1934). Formations littorales et estuaires de la Syrte Mineure (golfe de Gabès). Bull. Stat. Océanogr. Salammbô, 32:1-65.
- SORETRAS-IRT-GES (1985). Enquête Ménages sur la Mobilité à Sfax en 1984. Rapport avrii 1985.
- ZAOUALI, J. (1992). Présence d'*Eucrete crenata* dans le golfe de Gabès (Crustacea, Decapoda, Brachyura). Vie Marine, 2(1).
- ZAOUALI, J. (1993). Les peuplements benthiques de la petite Syrte, golfe de Gabès, Tunisie: Résultats de la campagne de prospection du mois de juillet 1990 - Etude préliminaire: biocoenoses et thanatocoenoses récentes. Mar. Life, 3(1-2):47-60.
- ZEBIDI, A. (1989). Hydrogéologie de la Nappe Profonde de Sfax. Rapport, DRE, Tunis. 27pp.
- ZOUARI, K. et MALIKI, M.-Y. A. (In preparation). Etude hydrochimique et isotopique de la nappe profonde de Sfax.

ANNEXE I

MEMBRES DE L'EQUIPE DE TRAVAIL

1. Membres nationaux

Mr. K. ZOUARI - *Coordinateur national de l'action*
Ecole Nationale d'Ingénieurs de Sfax (ENIS), B.P. "W", 3038 Sfax, Tunisie

Mr. J. BOUZID
Ecole Nationale d'Ingénieurs de Sfax (ENIS), B.P. "W", 3038 Sfax, Tunisie

Mr. A. BOUSNINA
Faculté des lettres et des Sciences humaines, Bd. 9 Avril Tunis, Tunisie

Mr. Med. CHAYEB
Faculté des Sciences de Sfax, Route de Soukra, 3038 Sfax, Tunisie

Mr. N. KARRAY
Faculté des Lettres et des Sciences humaines de Sfax, Route de l'Aérodrome km 4,5, Sfax, Tunisie

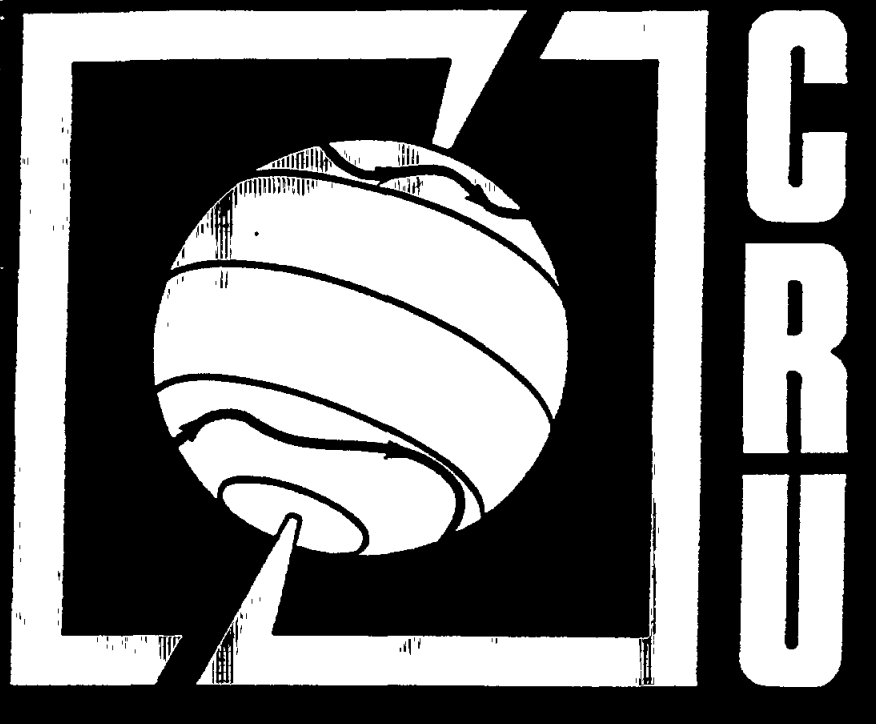
Mr. N. BRADAI
Institut National Scientifique et Technique d'Océanographie et de Pêche (INSTOP), Av. Med H. Khefacha, 3092 Sfax, Tunisie

2. Expert PNUE

Mr. M. KH. EL-SAYED
Faculty of Science, Alexandria University, Egypt

ANNEXE II

**MODELE EAST ANGLIA POUR MALTE UTILISE
DANS CETTE ETUDE**



**SCENARIOS THERMIQUES ET PLUVIOMETRIQUES POUR LA
REGION DE MALTE**

**Rapport à l'Unité de Coordination PNUE
du Plan d'Action pour la Méditerranée**

Janvier 1992

CLIMATIC RESEARCH UNIT
School of Environmental Sciences
University of East Anglia
Norwich, NR4 7TJ
England

**SCENARIOS THERMIQUES ET PLUVIOMETRIQUES POUR LA
REGION DE MALTE
ELABORES PAR L'UNIVERSITE D'EAST ANGLIA ET UTILISES DANS CETTE ETUDE**

**Rapport à l'Unité de Coordination PNUE
du Plan d'Action pour la Méditerranée**

Janvier 1992

**SCENARIOS THERMIQUES ET PLUVIOMETRIQUES
POUR LA REGION DE MALTE
ELABORES PAR L'UNIVERSITE D'EAST ANGLIA ET UTILISES DANS CETTE ETUDE**

Rapport à l'Unité de Coordination PNUE du Plan d'Action pour la Méditerranée

**X. Guo, J. P. Palutikof et T. M. L. Wigley
(ordre alphabétique)**

**Climate Research Unit
School of Environmental Sciences
University of East Anglia
Norwich NR4 7TJ
Royaume Uni**

Janvier 1992

TABLE DES MATIERES

Sommaire

1. L'exploitation des MGC dans l'élaboration des scénarios régionaux
2. La mise au point des scénarios à une échelle en-dessous du quadrillage du modèle
3. Scénarios des changements de climat pour la région de Malte
4. Conclusions

Références

Appendice 1 - Les stations météorologiques utilisées dans l'élaboration des scénarios pour la région de Malte

Figures

- 1 Scénario climatique régional pour la région de Malte: annuel
- 2 Scénario climatique régional pour la région de Malte: hiver
- 3 Scénario climatique régional pour la région de Malte: printemps
- 4 Scénario climatique régional pour la région de Malte: été
- 5 Scénario climatique régional pour la région de Malte: automne

Tableau

- 1 Changements dans la précipitation sur Malte prédits par les scénarios à base du MGC composite (% pour chaque °C d'augmentation de la température globale)

SOMMAIRE

Les méthodes mises au point par Kim *et al.*(1984) et Wigley *et al.* (1989) ont été appliquées au problème de l'établissement des scénarios de changement climatique à une échelle en-dessous du quadrillage du modèle pour la région de Malte. Des équations de regression ont été développées en vue de la prévision des anomalies thermiques et pluviométriques au niveau de station météorologique et à partir des anomalies climatiques moyennes à l'échelle régionale. Les écarts entre les valeurs MGC de température et de précipitation en application perturbée du modèle et celles en application contrôlée ont été substitués dans les équations de regression en vue d'obtenir une prévision du changement dû à l'effet de serre au niveau de chaque station. Les résultats ont été mis à l'échelle par le biais de la température d'équilibre de chacun des quatre MGC, et une moyenne des quatre modèles a été calculée. Cette procédure a été faite pour chaque station figurant dans la base de données ; ensuite, les résultats ont été profilés (mis en isolignes) pour établir un scénario pour la région de Malte.

Ainsi, des scénarios annuels et saisonniers, aussi bien pour la température que pour la pluie, ont été établis. Quant à la température, le changement annuel aux alentours de Malte devrait être un peu moins important que le changement global (c'est-à-dire, 0,8 à 0,9°C par °C de changement global). Au niveau saisonnier, l'augmentation la plus importante se produirait en été, le changement de température devant être un peu plus important que le changement global. Quant aux autres saisons, la réponse thermique serait un peu moins importante que le changement moyen global. La valeur la plus basse pour la région de Malte se produirait au printemps (0,8°C par °C de changement global).

Les scénarios pluviométriques sont plus difficiles à mettre au point. En particulier, il n'a pas été possible de mettre au point un scénario pour la perturbation estivale à une échelle en-dessous du quadrillage du modèle. Les scénarios disponibles suggèrent qu'il n'y aura aucun changement dans la précipitation au niveau annuel. L'hiver et le printemps auraient une moindre précipitation, tandis que celle-ci devrait augmenter en automne.

On a essayé d'évaluer les conditions en été moyennant un examen de scénarios MGC composites présentés dans le Rapport final. Ces scénarios indiquent qu'il y aura peu de changement, voire aucun, dans la précipitation estivale, dû à l'effet de serre dans la région de Malte. Cependant, pour les autres saisons et pour l'année complète, les scénarios MGC composites ne sont pas compatibles avec les scénarios à une échelle en-dessous du quadrillage du modèle. Les problèmes liés à l'établissement des scénarios sur les changements dans la précipitation dus à l'effet de serre ont été largement discutés dans le Rapport final au PNUE/Plan d'Action pour la Méditerranée. Néanmoins, la confiance que l'on peut accorder à ces scénarios pluviométriques est très relative.

1. L'EXPLOITATION DES MGC DANS L'ELABORATION DES SCENARIOS REGIONAUX

Il est généralement convenu que les résultats obtenus à partir des modèles généraux de circulation (MGC) fournissent les meilleures possibilités d'obtention des scénarios sur les changements climatiques régionaux. Ils sont la seule source d'information détaillée sur le climat futur, apte à être extrapolée au-delà des limites des conditions expérimentées dans le passé.

Les MGC sont des modèles complexes et informatisés de la circulation atmosphérique ; ils ont été mis au point par des climatologues à partir de modèles météorologiques numériques de prévision. L'approche typique consiste à appliquer les modèles à partir d'une concentration nominale et "pré-industrielle" du gaz carbonique dans l'atmosphère (dite application de contrôle) et ensuite de l'appliquer avec une concentration double (voire quadruple) de gaz carbonique (dite application perturbée). Dans les deux cas, on laisse les modèles atteindre leur équilibre, avant de noter les résultats. Ce genre d'application de modèles est donc connu comme une prévision d'équilibre de réponse.

Le fait que les MGC sont appliqués en mode équilibre devrait être considéré comme une source d'inexactitude potentielle dans les prévisions des modèles. On peut dire que les types de changement climatique régional prévus seront différents de ceux qui se produiraient dans un monde réel à réponse transitoire. C'est parce que les résultats d'équilibre ne tiennent aucun compte des processus océaniques importants, et encore moins des changements des courants, des effets différentiels thermiques entre les différentes parties de l'océan et entre la terre et la mer, ainsi que des changements dans la circulation thermohaline océanique. Les prévisions basées sur les réponses transitoires, où la concentration du gaz carbonique augmente progressivement pendant l'application perturbée et où les océans sont décrits à partir de MGC océaniques, ce qui de ce fait devrait donner une meilleure estimation, commencent à être disponibles. Cependant, la complexité du problème par rapport aux capacités informatiques actuelles permet d'avoir quelques doutes quant à la fiabilité des résultats ; ceci devrait durer encore pendant la prochaine décennie. L'étude présente se limite donc à l'emploi des résultats obtenus à partir d'expériences à base d'équilibre des MGC.

Les résultats obtenus des quatre MGC mis au point pour les études climatiques ont été utilisés dans ce rapport. Ces quatre MGC ont été proposés par les institutions de recherche suivantes:

- UK Meteorological Office (UKMO)
- Goddard Institute of Space Studies (GISS)
- Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL)
- Oregon State University (OSU).

Ces modèles diffèrent selon leurs approches aux équations physiques décrivant le comportement de l'atmosphère. UKMO, GISS et OSU les résolvent d'une façon dite noeud de quadrillage, tandis que GFDL utilise une méthode spectrale. Tous les modèles ont une distribution réaliste de la terre et de l'océan, y compris l'orographie (dans les contraintes de la résolution du modèle) ; tous ont prédit la banquise et la neige, et les nuages ont été calculés pour chaque couche de l'atmosphère dans tous les modèles.

Un problème dans l'application des MGC à l'étude des effets climatiques est la résolution grossière du quadrillage des modèles. L'échelle du quadrillage des quatre modèles ci-dessus mentionnés varie de 4° (latitude) par 5° (longitude), pour celui d'OSU, à 7.38° (latitude) par 10° (longitude), pour celui du GISS. Les MGC ont donc une résolution de plusieurs centaines de kilomètres, ce qui est insuffisant pour les besoins des études de changement climatique régional, surtout dans les zones à haut-relief. Est présenté ici un jeu de scénarios de haute résolution pour le nord-est de la Méditerranée, basé sur le rapport statistique entre les données des MGC à base de noeuds de quadrillage et les observations relevées par les stations météorologiques.

2. LA MISE AU POINT DES SCENARIOS A UNE ECHELLE EN-DESSOUS DU QUADRILLAGE DU MODELE

Kim *et al.* (1984) ont étudié le rapport statistique entre les valeurs moyennes locales et à grande échelle calculées au niveau régional pour deux variables météorologiques : la température et la précipitation. Ensuite ils ont utilisé ces rapports, mis au point par des techniques d'analyse des composantes principales, pour étudier la réponse de la température et de la précipitation locales aux changements prévus au niveau des noeuds du quadrillage des MGC. La zone d'étude était l'Etat d'Orégon. Bien que leur étude contienne quelques défauts statistiques, l'idée de base, soit relier statistiquement les données locales et à grande échelle, est valable. La méthode de Kim *et al.* a été élargie et raffinée par Wigley *et al.* (1990) et par Wilks (1989).

Les méthodes de Kim *et al.* and Wigley *et al.* ont été modifiées en vue de leur application à la région Méditerranéenne. Dans la validation du modèle opérée pour le Projet méditerranéen (voir Rapport final), il était établi qu'aucun des MGC ne peut être considéré comme étant toujours le meilleur dans la simulation du climat actuel. Ceci étant, ce n'est pas utile de proposer des scénarios basés sur un seul modèle. La présentation de scénarios pour chacun des quatre modèles évite le problème, puisque la tâche de décider quel modèle est "le meilleur", et/ou la synthèse de l'information en vue d'obtenir la meilleure estimation, reste à l'analyste de l'impact. Nous avons donc combiné l'information fournie par les quatre modèles dans un seul scénario pour chaque variable, selon la méthode décrite ci-dessous.

La difficulté de présenter les scénarios dans cette forme est que les résultats pourraient être altérés par les réponses d'équilibre des différents modèles. Le réchauffement dû à un taux $2xCO_2$ pour les quatre MGC varie entre $2,8^\circ C$, pour le modèle OSU, et $5,2^\circ C$, pour le modèle UKMO. Il faut donc s'attendre que le réchauffement indiqué par le MGC de l'UKMO sur le bassin méditerranéen sera plus important que celui indiqué par le modèle OSU, même si la sensibilité de la région aux changements climatiques comparée à la sensibilité globale est la même. Les perturbations individuelles de chaque modèle ont donc été normalisées par le changement de l'équilibre (global annuel) thermique spécifique à ce mois-là, avant de calculer la moyenne des quatre modèles ensemble.

On a eu besoin d'un logiciel informatique applicable à toute cette zone si différente géographiquement, et à des registres météorologiques d'une durée et densité variables. Après avoir évalué quelques approches du problème, la procédure suivante a été adoptée:

1. Des séries de données ont été établies sur les anomalies de température et de précipitation totale dans les alentours du bassin méditerranéen. Les stations utilisées dans cette étude sur la région de Malte sont données dans l'Appendice. Si possible, chaque série devrait être complète pour la période 1951-1988. Toute station avec une série de moins de vingt ans dans la période 1951-1988, et avec un manque d'une durée de plus de six mois sur douze dans l'année, a été écartée.
2. Ensuite, pour toute station valable, on a calculé les anomalies de température et de précipitation par rapport à la moyenne à long terme (1951-1988). A ce stade de l'étude, qui est le premier pas dans la mise au point des équations de régression (stade d'étalonnage), seules les données de 1951-1980 ont été utilisées. Les données de 1981-1988 ont été retenues pour tester la performance des modèles de régression (stade de vérification - voir Rapport final). Pour calculer l'anomalie de température, At_j , la différence simple a été utilisée:

$$At_j = t_j - T_j$$

où t_j est la température moyenne du mois j de l'année i , et T_j est la moyenne à long terme pour le mois j . L'anomalie de la précipitation, Ap_j , s'exprime comme le rapport de la moyenne à long terme:

$$Ap_j = (p_i - P_j)/P_j$$

où p_{ij} est le total mensuel de précipitation du mois j de l'année i , et P_j est la moyenne à long terme. Si P_j est moins que 1mm, cet équation peut être modifiée à:

$$Ap_{ij} = (p_{ij} - P_j)/1,0$$

3. Les anomalies individuelles de chaque station sont utilisées pour calculer les anomalies moyennes sur la base régionale. Les procédures décrites d'ici à la fin du point 6 sont spécifiques à chaque station, et devraient être appliquées à chaque station dans la base de données.

Un carré de 5° de latitude par 5° de longitude est centré sur la station pour laquelle des équations de regression sont à développer (la station prévue). Toutes les stations comprises par ce carré sont utilisées pour calculer les moyennes régionales. Si le nombre de stations est inférieur à trois, en ce qui concerne la température, ou quatre, en ce qui concerne la précipitation, la procédure est interrompue. Pour la température, on calcule les moyennes des anomalies de toutes les stations dans le carré de 5° x 5°, mois par mois, pour produire une série temporelle des moyennes correspondant au carré. Pour la précipitation, le degré important de variabilité spatiale rend souhaitable de pondérer les anomalies de chaque station par la surface du carré avant de calculer la moyenne régionale pour chaque mois. Pour ce faire, le carré de 5° x 5° est divisée en 20 x 20 petits carrés. La valeur de l'anomalie de précipitation affectée à un carré particulier est celle de la station la plus proche (avec la contrainte que la distance qui sépare un carré de la station la plus proche ne devrait pas dépasser 1° ; là où la distance est plus importante, le carré est écarté du calcul). La moyenne du carré est donc celle des valeurs dans les 400 petits carrés (ou moins, si quelques-uns ne satisfont pas le critère de la distance minimum). Cette méthode est similaire à celle du polygone de Thiessen.

4. Des analyses de regression ont été faites avec des anomalies de température et de précipitation comme les paramètres à prévoir. Ces analyses ont été menées sur une base annuelle et saisonnière : hiver (Décembre, Janvier et Février), printemps (Mars, Avril et Mai), été (Juin, Juillet et Août), automne (Septembre, Octobre et Novembre). En considérant les valeurs mensuelles comme des observations séparées dans chaque saison, il a été possible d'augmenter le nombre d'observations et de préserver ainsi un nombre élevé de degrés. Les variables de prédiction sont les moyennes régionales de température et précipitation.
5. Afin de déterminer la perturbation due à l'effet de serre à chaque station, les résultats des MGC ont été utilisés. C'est entendu qu'une valeur de température ou de précipitation liée à un noeud du quadrillage d'un MGC est l'équivalente d'une valeur moyenne régionale obtenue des données d'observation. Pour chacun des quatre MGC (GFDL, GISS, OSU et UKMO), les températures et les précipitations correspondant à un noeud du quadrillage résultant de l'application perturbée et de celle de contrôle sont interpolées à l'endroit de la station. Ce qui donne, pour la température:

$$Atm_i = t_i(2 \times CO_2) - t_i(1 \times CO_2)$$

où Atm_i est la perturbation due au gaz carbonique (CO_2), ou "l'anomalie de température" pour le modèle i , et, pour la précipitation :

$$Ptm_i = \{p_i(2 \times CO_2) - p_i(1 \times CO_2)\} \times 100/p_i(1 \times CO_2)$$

où Ptm_i est la perturbation normalisée due au gaz carbonique, ou "l'anomalie de précipitation".

Les valeurs Atm et Ptm pour chaque MGC sont alors introduites dans les équations de regression en vue d'obtenir une prévision de la perturbation, au niveau de station, de la température (°C) et de la précipitation (%) due au gaz carbonique.

6. Le changement prévu de température et de précipitation pour chaque modèle est divisé par le changement de la température d'équilibre (moyenne globale) correspondant à ce modèle. Les résultats sont ensuite réduits à une moyenne de l'ensemble des quatre modèles pour obtenir une valeur composite.
7. Les procédures élaborées dans les points 3-6 sont répétées pour chaque station dans toute la région méditerranéenne. Les résultats peuvent alors être mis en graphique, puis profilés pour produire une carte des changements de température et de précipitation dus à l'effet de serre.

Pour arriver à cette procédure, une investigation rigoureuse de la validité de cette méthode a été effectuée. En particulier, on a fait le point sur :

- l'emploi d'autres variables de prévision dans les équations de regression;
- une autocorrélation éventuelle dans les données;
- une multicolinéarité éventuelle dans les variables de prédiction.

Ces aspects sont discutés en détail dans le Rapport final.

3. SCENARIOS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES POUR LA REGION DE MALTE

Les scénarios à une échelle en dessous du quadrillage du modèle, qui ont été élaborés selon la méthode décrite dans la section 2, ci-dessus, sont donnés dans les Figures 1-5. Les perturbations de température sont présentées comme le changement moyen du modèle, en degrés Celsius par °C de changement annuel global. Les perturbations de précipitation sont données comme le changement en pourcentage par °C de changement annuel global. Cette procédure a été décrite plus en détail dans la section 2, où on l'a aussi justifiée.

Le problème dû à la présentation des scénarios dans cette forme est donc la mise à l'échelle (vers le haut ou vers le bas) par rapport à une estimation réaliste de la perturbation de la température à attendre de l'effet de serre. Le Rapport IPCC (Houghton *et al.*, 1990) présente un ensemble d'estimations. Pour leur scénario "Business-as-usual" (les affaires continuent) sur les émissions, l'augmentation probable de la température moyenne globale à l'an 2050 est prévue à 1°C au-dessus de la valeur actuelle. A la fin du siècle prochain, l'augmentation est estimée à 3°C par rapport à la valeur actuelle. Sur cette base, les scénarios de température et de précipitation pour la région de Malte présentés dans ce rapport peuvent être reliés directement aux changements entre maintenant et l'an 2050.

Les scénarios pour les changements au niveau annuel sont donnés dans la Figure 1. Pour la région entière, la réponse de la température serait vraisemblablement inférieure au changement moyen global, c'est-à-dire, moins de 1°C. Aux alentours de Malte elle-même, ce changement serait de 0,8-0,9°C par °C de changement global. Les scénarios de précipitation indiquent qu'au niveau annuel il n'y aurait que très peu de changement dans la précipitation aux environs de Malte.

Les cartes saisonnières sont données dans les Figures 2-5. Dans toutes les saisons, le changement de température aux environs de Malte serait à peu près le même qu'au niveau global (c'est-à-dire, 1°C par °C de changement global). Le plus grand changement serait observé en été (les mois de Juin, Juillet et Août, Figure 4). Dans cette saison, les températures devraient augmenter un peu plus que l'augmentation globale. Dans les trois autres saisons, le changement de température dans la région de Malte serait un peu moins que la réponse globale. Cependant, ce ne serait jamais en-dessous de 0,8°C par °C de changement global.

Des cartes de précipitation ne sont données que pour trois des quatre saisons : l'hiver (Figure 2), le printemps (Figure 3), et l'automne (Figure 4). Aucune prévision n'a été possible pour l'été parce que les corrélations entre les valeurs moyennes régionales de prévision climatique et la série de données de précipitation au niveau de station étaient en-dessous de la valeur limite de 0,7 (voir section 4.2.3 du Rapport final pour une explication complète). Une réduction de la précipitation d'à peu près 9% dans la région de Malte est indiquée pour l'hiver (Figure 2). La précipitation en printemps (Figure 3) montre aussi une chute entre 12% et 15% par °C de changement global. Une précipitation moindre dans ces deux saisons serait compensée par une augmentation en automne, de quelques 14% par °C de changement global.

Deux problèmes ont été rencontrés dans l'élaboration des scénarios à une échelle en-dessous du quadrillage du modèle pour Malte:

1. Il n'a pas été possible d'utiliser les données de la station météorologique de Malte à l'aéroport de Luqa. Comme il a été indiqué dans la section 2, la méthode exige au moins trois stations, pour la température, ou quatre, pour la précipitation, dans un carré de 5° x 5° autour de ladite station, pour laquelle des équations de regression sont à élaborer. L'aéroport de Luqa ne correspond pas à ce critère. Bien que le carré puisse être agrandi en vue d'inclure un nombre suffisant de stations pour calculer la série temporelle des valeurs moyennes climatiques pour la région, ceci devrait jeter un doute sur la validité des résultats. Les scénarios présentés ici ont été produits par l'interpolation des résultats des stations ayant un nombre suffisant de stations aux alentours dans la région de Malte.

2. Aucun scénario pour la précipitation dans la région de Malte n'a pu être élaboré par la méthode utilisée ici. Ce qui veut dire que le scénario des changements annuels de précipitation ne couvre en fait que neuf mois de l'année.

Afin de répondre partiellement au problème dû au manque d'un scénario pour la précipitation d'été, il est possible d'utiliser les scénarios à base du MGC composite présentés dans le chapitre 3 du Rapport final. Ces scénarios sont élaborés, au premier abord, par une cartographie de la sortie des quatre MGC sur un quadrillé commun de 5° de latitude par 10° de longitude. Un changement de précipitation normalisé est alors calculé pour chaque noeud du quadrillé et exprimé comme un pourcentage de changement par °C de réchauffement global moyen. Moyennant une interpolation entre les noeuds du quadrillé, des cartes ont pu être données dans le Rapport final pour tout le bassin de la Méditerranée. De ces cartes on a tiré les valeurs appropriées pour la région de Malte; celles-ci sont données dans le tableau ci-dessous.

On voit que les prévisions des scénarios du MGC composite pour les changements de la précipitation diffèrent légèrement de ceux indiqués par les scénarios à une échelle en-dessous du quadrillage. Ceci n'est pas surprenant, vu le faible degré de confiance accordé aux scénarios régionaux de précipitation. Au niveau annuel, une légère hausse de la précipitation est indiquée, et mise en évidence par la plus importante précipitation au printemps et en automne. L'hiver et l'été ne montrent aucun changement de précipitation.

Table 1. Changements dans la précipitation sur Malte prédits par les scénarios à base du MGC composite (% pour chaque °C d'augmentation de la température globale)

Annuel	Augmentation de 1%
Hiver	Pas de changement
Printemps	Augmentation de 1%
Automne	Augmentation de 3%

Fig. 1. Scénario climatique régional pour la région de Malte: annuel. (Température en unités de °C par °C de changement global ; précipitation en unités de % par °C de changement global)

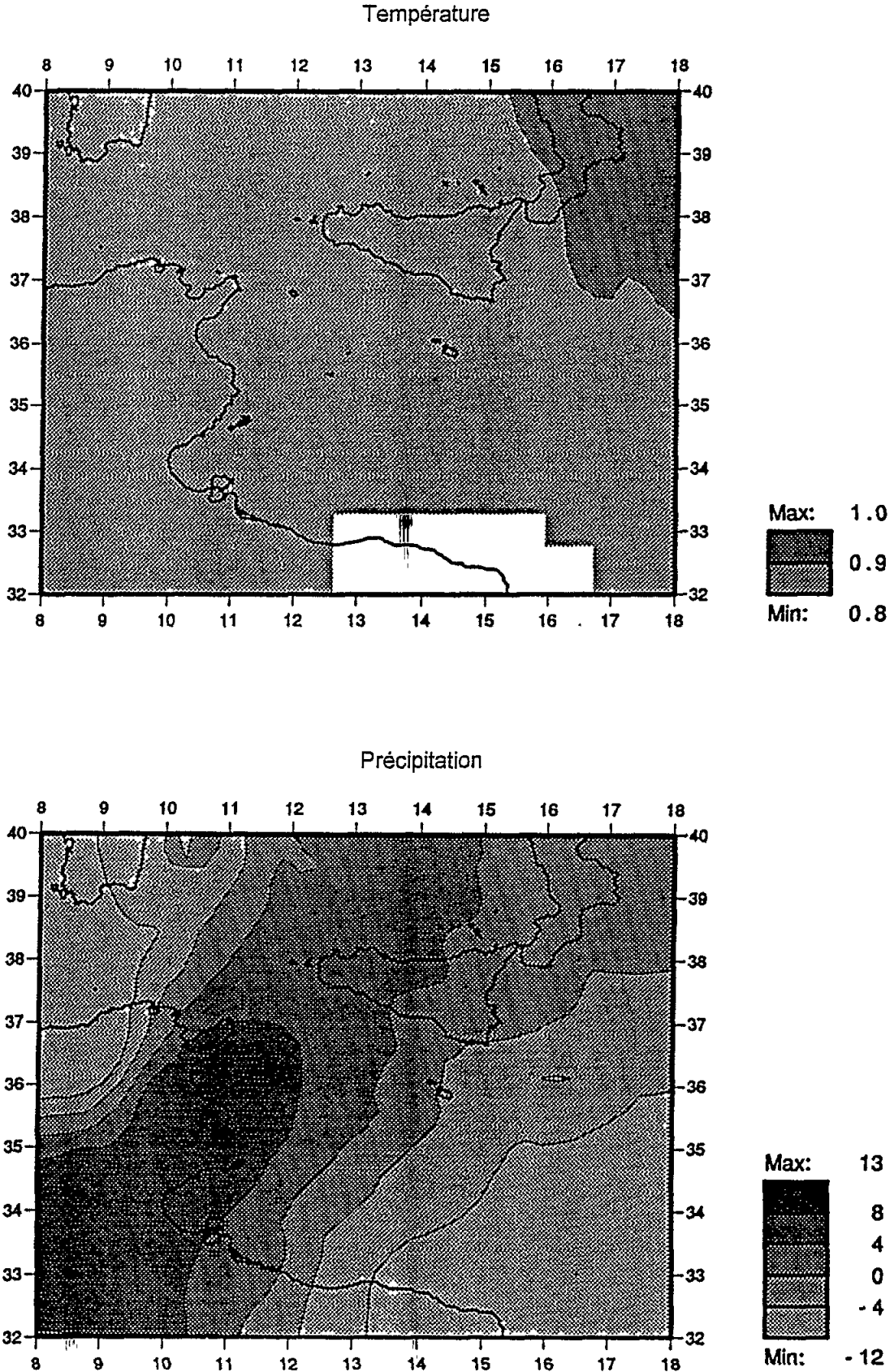


Fig. 2. Scénario climatique régional pour la région de Malte: hiver (Température en unités de °C par °C de changement global ; précipitation en unités de % par °C de changement global)

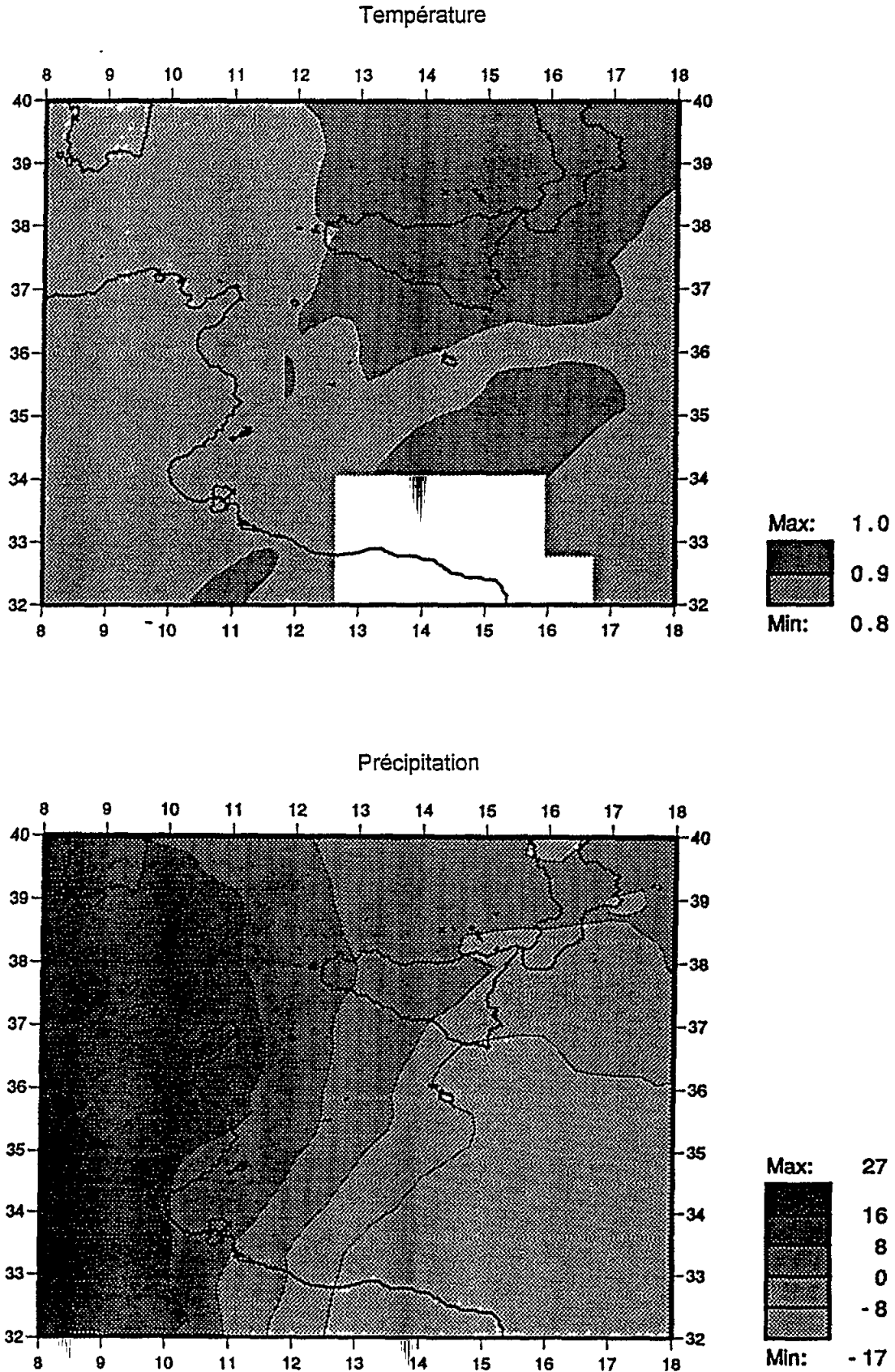


Fig. 3. Scénario climatique régional pour la région de Malte: printemps (Température en unités de °C par °C de changement global ; précipitation en unités de % par °C de changement global)

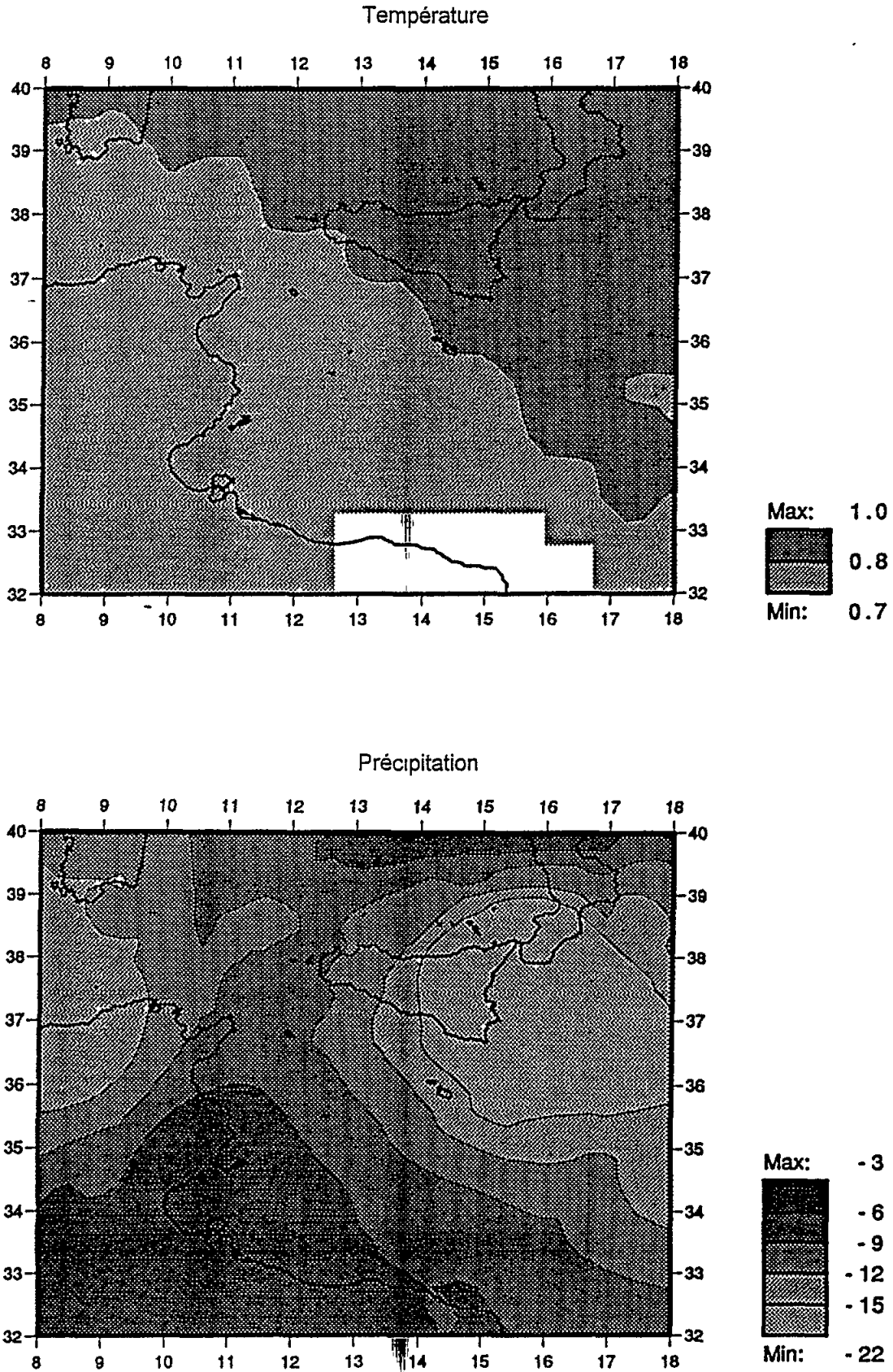


Fig. 4. Scénario climatique régional pour la région de Malte: été (Température en unités de °C par °C de changement global ; précipitation en unités de % par °C de changement global)

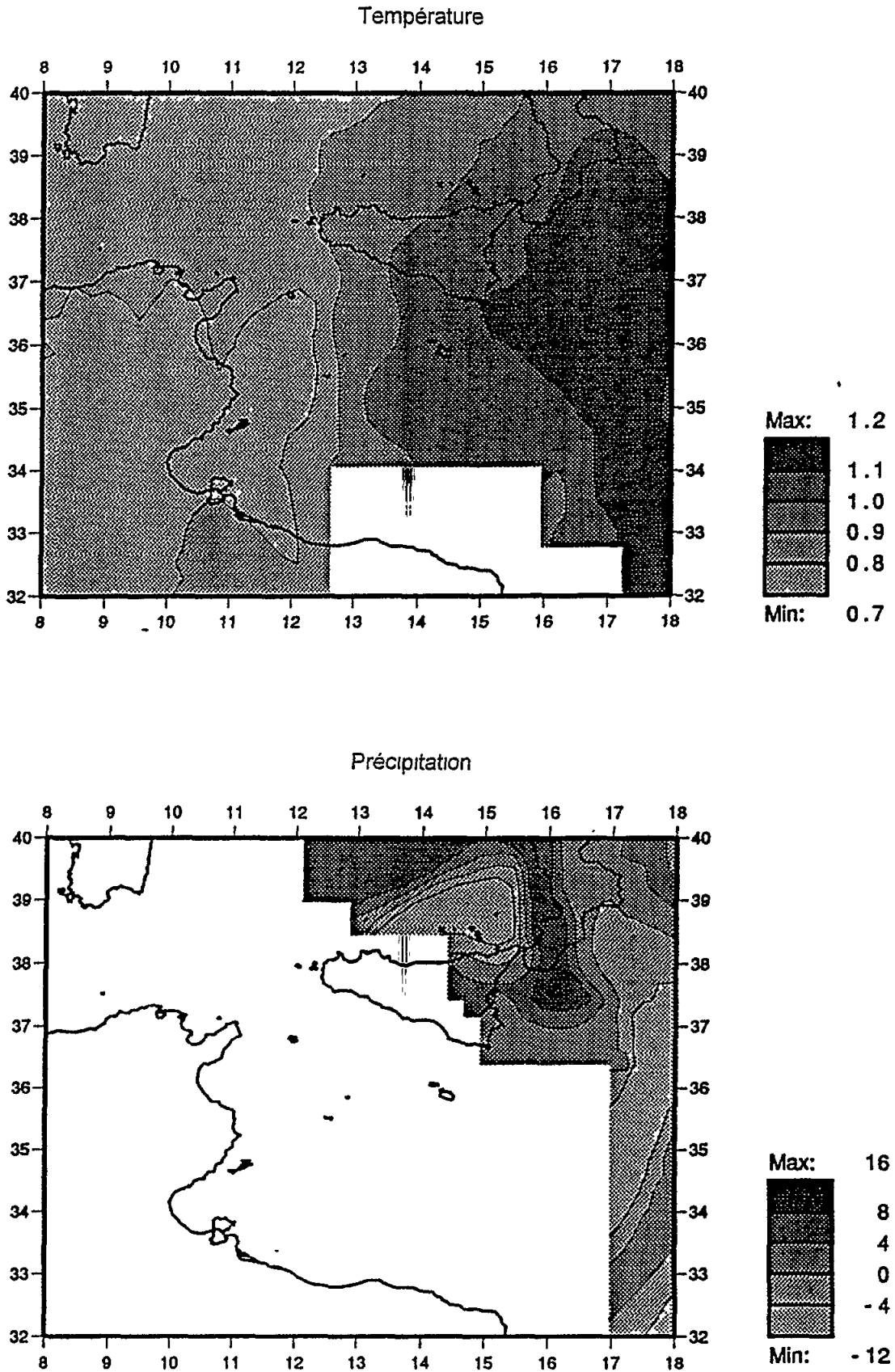
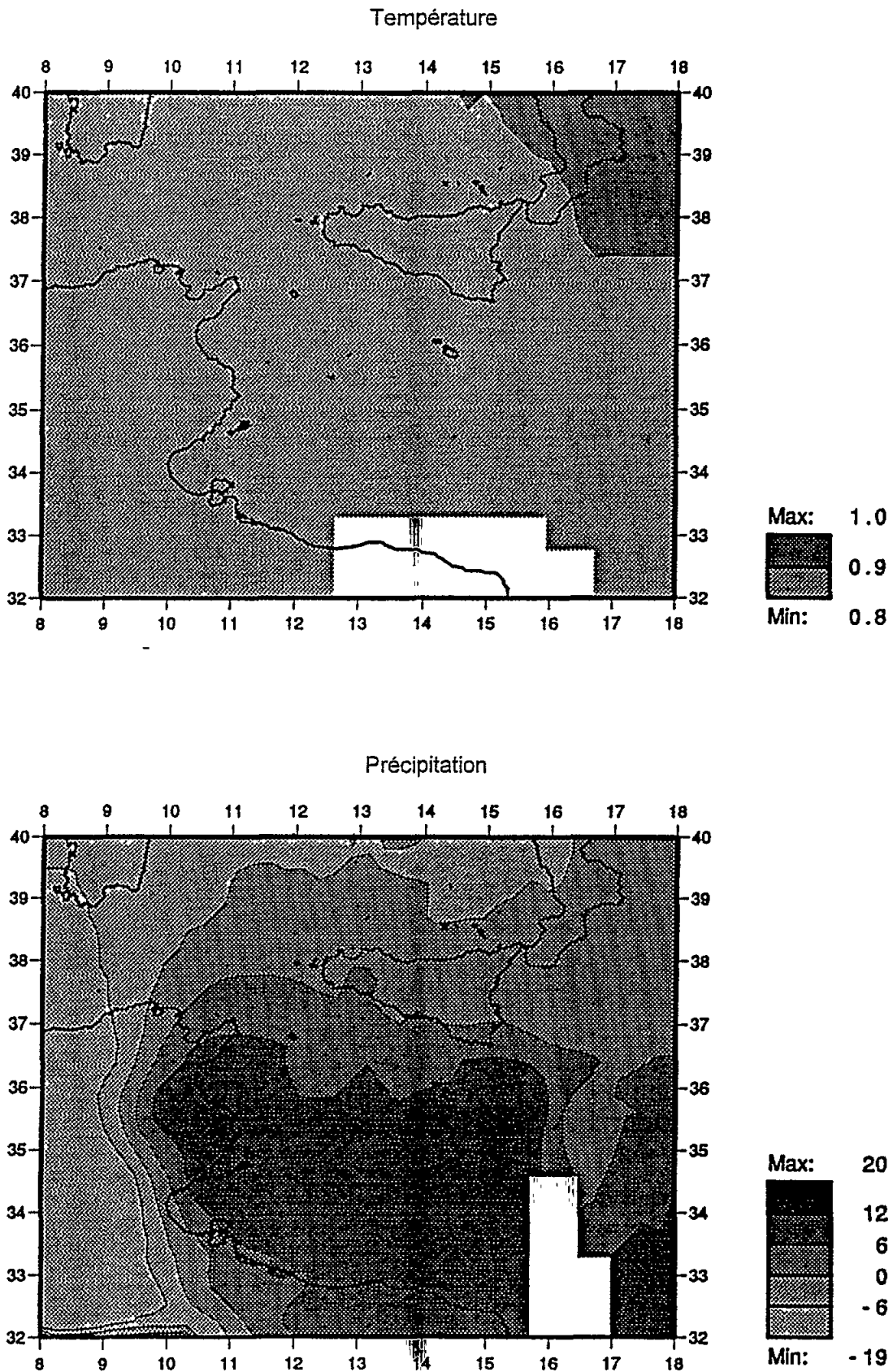


Fig. 5. Scénario climatique régional pour la région de Malte: automne (Température en unités de °C par °C de changement global ; précipitation en unités de % par °C de changement global)



4. CONCLUSIONS

Les méthodes élaborées par Kim *et al.* (1984) et Wigley *et al.* (1989) ont été appliquées au problème de l'élaboration des scénarios à une échelle en-dessous du quadrillage du modèle pour les changements climatiques de la région de Malte. Des équations de régression ont été mises au point en vue de la prévision des anomalies de température au niveau de station et de précipitation des anomalies climatiques moyennes. On a alors procédé à la substitution des différences entre les valeurs des MGC en application perturbée et celles en application de contrôle se rapportant à la température et à la précipitation dans les équations de régression, en vue d'obtenir une prévision du changement dû à l'effet de serre à chaque station. Cette procédure a été répétée pour chaque station dans la base de données, puis les résultats ont été profilés pour faire un scénario.

Des scénarios annuels et saisonniers, tant pour la température que pour la précipitation, ont été élaborés. Quant à la température, le changement annuel dans la région de Malte devrait être légèrement en-dessous du changement global (entre 0,8 et 0,9°C par °C de changement global). Au niveau saisonnier, la plus importante augmentation serait en été, quand la température devrait augmenter un peu plus que le changement global. Dans les trois autres saisons, la réponse de la température est en-dessous du changement global moyen. La valeur la plus basse pour la région de Malte se trouve au printemps (0,8°C par °C de changement global).

Les scénarios pour la précipitation sont beaucoup plus difficiles à évaluer. Il n'a pas été possible d'établir un scénario à une échelle en-dessous du quadrillage du modèle pour la perturbation d'été. Les scénarios disponibles indiquent qu'il n'y aurait pas un changement de précipitation au niveau annuel. L'hiver et l'été auraient une moindre précipitation, tandis que celle-ci devrait augmenter en automne.

On a essayé d'évaluer les conditions en été moyennant un examen des scénarios du MGC composite présentés dans le Rapport final. Ceux-ci indiquent qu'il y aurait très peu de changement de précipitation estivale dans la région de Malte dû à l'effet de serre. Cependant, en ce qui concerne les autres saisons, ainsi que l'année entière, les scénarios du MGC composite ne sont pas compatibles avec des scénarios à une échelle en-dessous du quadrillage du modèle. Les problèmes dans l'établissement des scénarios régionaux pour les changements de la précipitation dus à l'effet de serre ont été discutés dans le Rapport final au PNUE/Plan d'Action pour la Méditerranée. La confiance que l'on peut accorder à ces scénarios pluviométriques est très modeste.

REFERENCES

- Houghton, J. T., Jenkins, G.J. et Ephraums, J.J. (eds.) (1990). *Climate Change: the IPCC Scientific Assessment*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Kim, J.M., Chang, J.T., Baker, N.L., Wilks, D.S. et Gates, W.L. (1984). The statistical problem of climate inversion: determination of the relationship between local and large-scale climate. *Monthly Weather Review*, 112:2069-2077.
- Wigley, T.M.L., Jones, P.D., Briffa, K.R. et Smith, G. (1990). Obtaining sub-grid-scale information from coarse-resolution GCM output. *J. Geophys. Res.*, 95(D2):1943-1953.
- Wilks, D.S. (1989). Statistical specification of local surface weather elements from large-scale information. *Theor. and Appl. Climat.*, 40:119-134.

APPENDICE 1

LES STATIONS DISPONIBLES POUR L'ELABORATION D'UN SCENARIO
POUR LA REGION DE MALTE

Noter que toutes ces stations ne seront pas nécessairement utilisées dans l'élaboration définitive des scénarios. Elles doivent d'abord satisfaire les critères de choix décrits dans la section 2 de ce rapport et dans le rapport final.

Station	°E	°N	HT	PRN	TEM	P%	T%
ALBANIE							
1. SHKODRA	19.5	42.1	43	1951-1970	1951-1970	100	100
2. TIRANA	19.8	41.3	89	1951-1970	1951-1970	100	100
3. VLORA	19.5	40.5	1	1951-1970	1951-1970	100	100
ALGERIE							
4. SKIKDA	7.0	36.9	9	1967-1989	1966-1986	52	76
5. ANNABA	7.8	36.8	5	1963-1989	1963-1986	62	94
6. BEJAIA	5.0	36.8	22	1969-1989	1969-1974	38	81
7. CONSTANTINE	6.6	36.3	704	1951-1989	1967-1986	75	100
8. BISKRA	5.7	34.8	81	1951-1989	1951-1986	65	88
9. TOUGGOURT	6.0	33.1	85	1951-1989	-	37	0
10. OUED	6.9	33.3	63	1951-1989	-	62	0
11. OUARGLA	5.4	31.9	141	1951-1972	1963-1971	95	87
12. BATNA	6.3	35.6	n/a	1972-1986	1972-1986	100	100
FRANCE							
13. AJACCIO	8.8	41.9	5	1951-1989	1951-1988	99	100
14. BASTIA	9.4	42.7	n/a	1961-1985	1961-1985	100	100
GRECE							
15. KERKYRA	19.9	39.6	2	1951-1989	1951-1988	96	96
16. YANENA	20.7	39.6	n/a	1956-1987	-	100	0
17. ZAKYNTHOS	20.9	37.8	8	1951-1982	1951-1982	79	79
ITALIE							
18. PESCARA	14.2	42.4	9	1961-1989	1961-1980	97	100
19. ROME	12.2	41.8	2	1951-1989	1951-1988	98	99
20. NAPOLI	14.3	40.9	88	1961-1987	1961-1987	99	99
21. BRINDISI	18.0	40.7	15	1961-1989	1961-1980	98	100
22. MARINA	16.9	40.4	12	1967-1989	1967-1980	96	95
23. MESSINA	15.6	38.2	51	1961-1989	1961-1980	98	100
24. TRAPANI	12.5	37.9	79	1961-1989	1961-1980	98	100
25. CATANIA	15.1	37.5	65	1961-1987	1961-1987	98	99
26. ALGHERO	8.3	40.6	23	1961-1089	1961-1985	79	99
27. CAGLIARI	9.1	39.3	18	1951-1989	1951-1988	98	99
28. AVEZZANO	13.6	42.0	n/a	1951-1070	-	100	0
29. GROSSETO	11.1	42.8	5	1961-1985	1961-1985	99	100
30. CAMPOBASSO	14.7	41.6	793	1961-1985	1961-1985	99	99
31. BARI	16.8	41.1	34	-	1961-1985	0	99
32. POTENZA	15.8	40.6	823	1961-1985	1961-1973	99	96
33. CROTONE	17.1	39.0	155	-	1961-1985	0	99
34. PALERMO	13.1	38.2	21	-	1961-1985	0	99

Station	°E	°N	HT	PRN	TEM	P%	T%
LIBYE							
35. NALUT	11.0	31.9	620	1951-1988	1951-1960	98	94
36. BENI-WALID	14.0	31.8	n/a	1951-1989	1951-1960	67	92
37. MIZDA	13.0	31.5	n/a	1951-1988	1951-1960	95	92
38. ZUARA	12.1	32.9	3	1951-1988	1954-1988	98	79
39. GHARIAN	13.0	32.2	n/a	1951-1988	1951-1960	96	94
40. HOMS	14.2	32.6	n/a	1951-1989	1951-1960	92	94
41. TRIPOLI	13.2	32.7	84	1951-1989	1951-1988	90	91
42. MISURATA	15.1	32.4	6	1951-1988	1954-1988	100	93
43. TUMMINA	15.1	32.2	n/a	1951-1989	1951-1960	36	94
44. SIRTE	16.6	31.2	22	1951-1988	1954-1988	98	65
45. BENINA	20.3	32.1	132	1951-1989	1951-1988	85	88
46. BENGHAZI	20.0	32.1	10	1951-1973	1985-1988	100	100
47. AGEDABIA	20.2	30.7	n/a	1951-1988	1954-1988	99	60
48. HON	16.0	29.1	261	1954-1988	1954-1988	94	75
49. GHADAMES	9.5	30.1	n/a	1951-1988	1969-1988	91	96
MALTE							
50. LUQA	14.5	35.9	80	1951-1989	1951-1988	96	99
TUNISIE							
51. TUNIS	10.2	36.8	3	1951-1988	1951-1988	100	97
52. JENDOUBA	8.8	36.5	143	1951-1988	1964-1974	100	95
53. KAIROUAN	10.1	35.7	60	1951-1988	1964-1974	100	95
54. GAFSA	8.8	34.4	313	1951-1988	1964-1974	100	93
55. SFAX	10.7	34.7	21	1951-1988	-	100	0
56. GABES	10.1	33.9	4	1951-1988	1951-1974	100	95
57. DJERBA	10.6	33.8	0	1951-1988	-	100	0
58. MEDENINE	10.3	33.3	117	1951-1972	-	100	0
59. AIN-DRAHAM	8.7	36.8	739	1951-1988	-	100	0
YOUGOSLAVIE							
60. ULCINJ	19.2	41.9	30	1951-1980	1951-1980	100	100
61. TITOGRAĐ	19.3	42.4	33	1951-1989	1951-1988	97	98

°E - longitude

°N - latitude

Alt. - altitude au-dessus du niveau de la mer

Précip. - durée de la série relative à la précipitation

Temp. - durée de la série relative à la température

P% - pourcentage de couverture de la série relative à la précipitation

T% - pourcentage de couverture de la série relative à la température.

ANNEXE III

CONTROLE DE LA QUALITE DES DONNEES CLIMATIQUES UTILISEES LORS DE CE TRAVAIL

Toute étude sur les changements climatiques devra être basée sur des données ayant subi un contrôle rigoureux. Lors de ce travail, l'application de plusieurs procédures (statistiques et graphiques) de contrôle de la qualité, a permis de déceler un nombre d'erreurs important et d'origines diverses.

1. Les erreurs

840 erreurs ont été identifiées et ce, pour les seules données de températures. Elles appartiennent à plusieurs catégories. Une typologie générique des erreurs a permis de distinguer sept (7) grandes catégories d'erreurs (Figure 12, dans le texte).

1.1. Les erreurs de type "A" : Les observations incomplètes

On compte 210; soit 25 pour cent de l'effectif total des erreurs. La consultation des tableaux climatologiques mensuels (T.C.M.) originaux a permis de constater que les valeurs thermiques ont été parfois déterminées pour un nombre de jours bien inférieur à 30. Ainsi, en août 1958, les observations n'étaient assurées que pendant 14 jours. Aussi, les températures moyennes des maxima (33,1°C) et des minima (21,3°C) ont été rejetées. Il en est de même pour les maxima moyens de juin 1915 (29,0°C).

A la station voisine d'El-Jem, on peut relever aussi l'exemple de septembre 1921 où les observations météorologiques n'étaient assurées que du 22 au 30 du mois (9 observations au total). Ainsi, les valeurs de 30,0°C et 35,0°C représentant respectivement les températures maximales moyenne et absolue sont donc rejetées.

1.2. Les erreurs de type "B"

Si un mois *i* est lacunaire et qu'on vient lui affecter la valeur d'une autre station, on commet une erreur de type "B". Les erreurs relevant de ce type sont cependant peu nombreuses: 28 cas recensés, soit 3,3 pour cent du total. Pour mieux illustrer ce type, on peut citer le cas de la moyenne des maxima quotidiens de mai (23,6°C) et juin (25,6°C) 1946, ainsi que le maximum absolu de novembre 1921 (28,0°C), mars 1922 (25,0°C), janvier (11,0°C) et février 1940 (11,1°C).

1.3. Les erreurs de type "C": Les lacunes "fictives"

Par opposition aux lacunes réelles qui correspondent aux données inexistantes et/ou non disponibles, on peut distinguer un autre type de valeurs manquantes qui s'avèrent en définitive des lacunes "hypothétiques". En effet, les séries obtenues auprès de l'I.N.M. font souvent état de lacunes s'allongeant sur plusieurs années successives, notamment de 1935 à 1941 inclus, alors que ces données "manquantes" existent réellement aux archives relevant du B.I.R.H*. La consultation des documents originaux (T.C.M.) a ainsi permis de "combler" de grandes lacunes et de restituer un bon nombre de valeurs dont l'effectif s'élève à 78, ce qui représente 9,3 pour cent des cas.

Dans le même ordre d'idée, on a relevé des lacunes déclarées comme telles alors qu'elles peuvent être puisées directement du service météorologique lui-même. Il s'agit, dans la plupart des cas, des moyennes non calculées et considérées comme inexistantes.

1.4. Les erreurs de type "D" : Les erreurs de lecture et/ou de saisie

Au total, on a recensé 39 erreurs de lecture, soit 4,6 pour cent du total. Les températures extrêmes lues à partir du thermomètre peuvent être sous-estimées ou même surestimées.

Au niveau des températures maximales absolues, les valeurs ont été généralement sous-estimées. Les différences entre les maxima réels et ceux publiés (erronés) peuvent parfois atteindre plusieurs degrés. Par exemple, en mai 1915, le maximum absolu fourni est de 33,0°C, alors qu'en fait il se limite à 29,0°C seulement. A El-Jem, on inscrit 31,0°C à la place de 40,0°C pour août 1946.

Au niveau des minima absolus, on retient également le cas d'octobre 1937 où l'on enregistre 17,0°C au lieu de 11,0°C. Plus récemment, on remarque la substitution de la température minimale absolue de mars 1957 par -0,9°C au lieu de -0,2°C.

Le même type d'erreur s'inverse pour les températures minimales absolues. On a ainsi observé à Sfax en Juillet 1918 : 26,0°C au lieu de 15,0°C (11°C de différence).

1.5. Les erreurs de type "E"

Ce sont des erreurs de transcription. Bien que leur nombre total soit relativement limité (N= 20, 2,4 pour cent), elles présentent néanmoins plusieurs variétés, notamment concernant leur origine.

La confusion peut avoir lieu entre le chiffre du dixième avec les autres. Ex: décembre 1918 où l'on indique, pour le minimum absolu, 5,0°C au lieu de 0,5°C.

L'erreur de transcription peut également provenir d'une confusion totale entre les chiffres. Celle-ci consiste soit en une mauvaise écriture au niveau du manuscrit, soit d'une mauvaise lecture du document lui-même. Les confusions classiques et les plus courantes ont été les suivantes. On confond tout d'abord les chiffres 0 et 9, comme ce fut le cas de la température maximale moyenne d'août 1912: 31,9°C au lieu de 31,0°C. Le chiffre "0" est parfois pris pour un 6. L'exemple en est fourni par le maximum moyen de mars 1936. 19,0°C au lieu de 19,6°C.

D'autres confusions, rares il est vrai, concernent également les chiffres 2 et 3. Le cas s'est présenté en juin 1950 où le maximum absolu affiché: 28,9°C tient la place de 38,9°C. La même confusion s'est reproduite en septembre 1977 avec 27,8°C (maximum absolu) au lieu de 37,8°C.

On confond également entre les chiffres 5 et 8 comme cela a été le cas d'octobre 1985 où le maximum absolu proposé: 25,4°C diffère donc de 3°C par rapport à la valeur réelle: 28,4°C.

Les erreurs de transcription peuvent se présenter sous un aspect encore différent. Elles consistent dans certains cas, à intervertir l'ordre des chiffres. Tel a été le cas, par exemple, d'octobre 1911 pour lequel, la température moyenne des maxima diurnes change de 26,8°C à 28,6°C.

1.6. Les erreurs de type "F"

Il s'agit d'erreurs de calcul. Aussi cette catégorie concerne-t-elle uniquement les maxima moyens et les minima moyens. Leur nombre fut relativement important: 119 erreurs, soit 14,2 pour cent du nombre total des incorrections identifiées. Des exemples variés sont proposés dans le tableau suivant:

Les données thermiques de Sfax: Exemples d'erreurs de calcul.

Paramètre	Année	Mois	Valeur erronée	Valeur corrigée
Max. Moy.	1901	Mars	21,4	16,4
Max. Moy.	1901	Avril	23,0	18,9
Min. Moy.	1901	Août	18,9	22,4
Max. Moy.	1903	Mars	19,4	16,4
Min. Moy.	1905	Mars	10,1	7,1
Max. Moy.	1910	Septembre	27,3	31,8
Min. Moy.	1910	Septembre	19,2	16,8
Max. Moy.	1912	Juin	28,5	32,9
Max. Moy.	1912	Juillet	32,0	37,5
Max. Moy.	1928	Mai	29,5	23,5
Max. Moy.	1940	Janvier	17,7	18,6

1.7. Les erreurs de type "G"

Il s'agit sans doute du type d'erreur le plus grave et aussi le plus surprenant. Sa présence en grand nombre dans les séries obtenues: 346, soit 41,2 pour cent des cas recensés, a rendu quasiment inexploitable les données disponibles. Cette catégorie d'erreur est très révélatrice d'ailleurs de la fragilité des données de températures initialement obtenues. Elle concerne pratiquement tout le réseau météorologique tunisien. A Sfax, cette catégorie s'est manifestée suite à la substitution des données originales par d'autres valeurs complètement différentes. La confusion concerne parfois des années entières. En effet, les températures extrêmes minimales et maximales ont été toutes changées pour toute la période allant de 1900 à 1915, 356 valeurs ont été ainsi modifiées. Il est curieux toutefois de constater que les températures moyennes mensuelles maximales et minimales n'ont pas été modifiées pour la même période. La station de Sfax comportait ainsi deux séries différentes à l'intérieur d'une même chronique. La gravité de l'erreur est mieux appréciée quand on remarque les différences, en °C, entre les valeurs correctes et les valeurs erronées. Pour l'illustrer, on se limite à deux exemples, l'un relatif aux températures maximales absolues, l'autre au minima extrêmes. En novembre 1911, le maximum absolu vrai: 27,0°C a été changé en 36,0°C (9,0°C de différence). La température minimale absolue enregistrée dans le T.C.M de février 1902 était : 2,0°C, elle a laissé la place à une valeur imaginaire : -3,0°C !

Ainsi, l'identification des divers types d'erreurs a été une étape très importante en vue d'assurer une qualité meilleure des données utilisées. Des corrections élémentaires mais essentielles ont été effectuées et peuvent être résumées comme suit:

- Rectification des erreurs de saisie.
- Correction des erreurs de calcul et de transcription.
- Rétablissement des données à leur place correspondante aussi bien dans l'espace (au niveau des stations) que dans le temps (mois et/ou années).

Les erreurs étant éliminées, il en est résulté une amélioration substantielle de la qualité des données.

2. Homogénéité et homogénéisation des données

Les chroniques thermiques sont ainsi composées respectivement de deux séries correspondant aux deux principaux sites qu'a connus cette station: La ville de Sfax dont les données représentent la période 1900-1947 (Sfax-1) et l'aérodrome (Sfax-el-Maou) qui fournit, sans interruption, les données depuis janvier 1948 (Sfax-2).

La comparaison entre les valeurs de températures des deux sites donne les résultats illustrés par la figure 1 (annexe III).

- Les températures maximales moyennes (MxMoy) observées à Sfax-el-Maou (Sfax-2) ont été, dans l'ensemble, supérieures à celles enregistrées à Sfax-ville (Sfax-1). Les seules exceptions se situent en octobre et novembre.
- Les écarts obtenus entre les maxima moyens des deux sites sont généralement faibles et souvent inférieurs à $1,0^{\circ}\text{C}$. Les différences les plus significatives concernent les mois de mai jusqu'à août inclus ainsi que le mois d'octobre.
- Quant aux températures minimales moyennes, les différences observées entre les deux sites ont été systématiques. Elles montrent que les minima moyens (MnMoy) de Sfax-ville (Sfax-1) dépassent toujours ceux relatifs à Sfax-El-Maou (Sfax-2). L'"effet urbain" sur les températures apparaît ainsi de toute évidence. Les écarts, souvent supérieurs à $1,0^{\circ}\text{C}$, ont été d'ailleurs hautement significatifs. En effet, la valeur t de Student a varié de 2,783 pour juin à 5,412 pour octobre.
- Des différences assez significatives ont été également observées au niveau de la variabilité (figure 2, annexe III).

A ce propos, deux remarques méritent d'être signalées:

- La dispersion des maxima moyens est souvent supérieure à celle des minima moyens.
- Aussi bien pour les maxima que pour les minima, les températures moyennes observées à Sfax-ville, sont sensiblement plus irrégulières que celles enregistrées à Sfax-el-Maou.

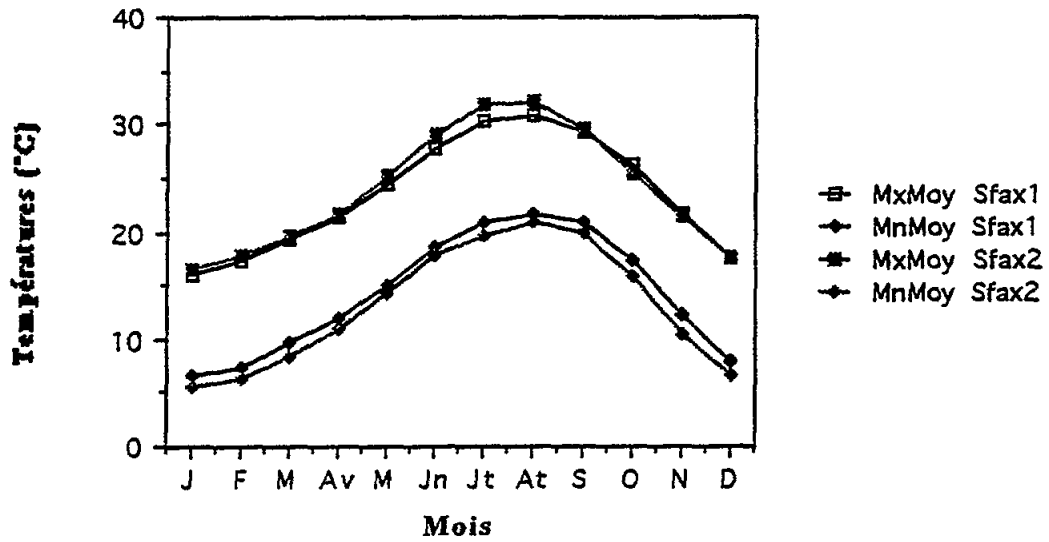


Figure 1 - Caractères thermiques des deux sites de Sfax

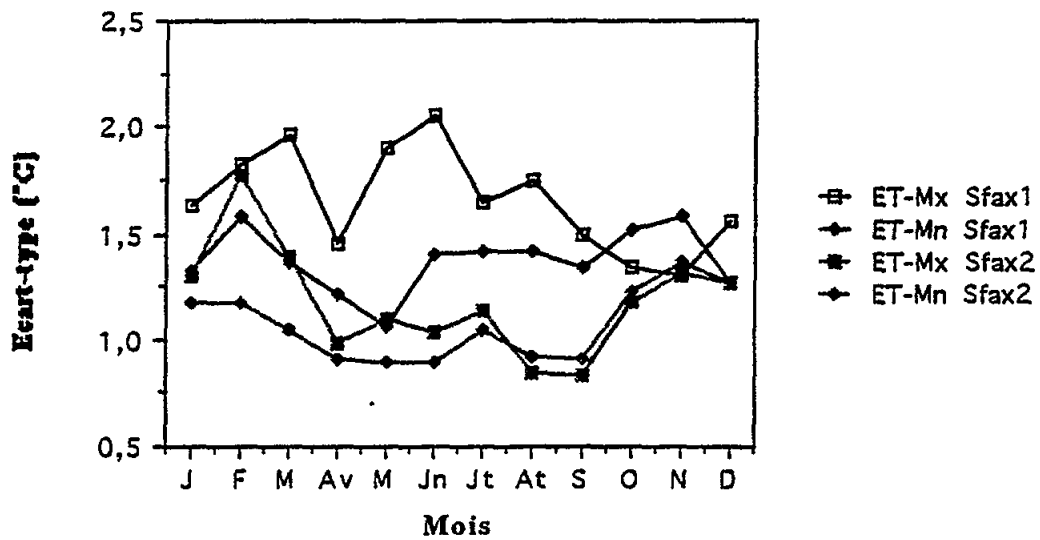


Figure 2 - Variabilité thermique dans les deux sites de Sfax

Les différences, ainsi calculées entre les deux sites, sont donc statistiquement très significatives et expriment, par ce fait, une cause majeure de l'hétérogénéité introduite à l'intérieur des séries obtenues. En vue d'homogénéiser ces données, une correction s'impose. Celle-ci a été faite sur les données de Sfax-el-Maou (séries plus courtes que celles de Sfax-ville) par l'affectation de certains coefficients mensuels (voir tableau ci-dessous).

Coefficients de correction affectés aux températures moyennes quotidiennes de Sfax-el-Maou (1948-1985).

Mois	Maxima moyens diurnes	Minima moyens diurnes
Septembre	-0,24	+1,11
Octobre	0,71	+1,69
Novembre	0,20	+1,77
Décembre	-0,02	+1,06
Janvier	-0,41	+1,10
Février	-0,55	+1,09
Mars	-0,27	+1,36
Avril	-0,04	+1,14
Mai	-0,73	+0,79
Juin	-1,36	+0,75
Juillet	-1,49	+1,20
Août	-1,24	+0,97

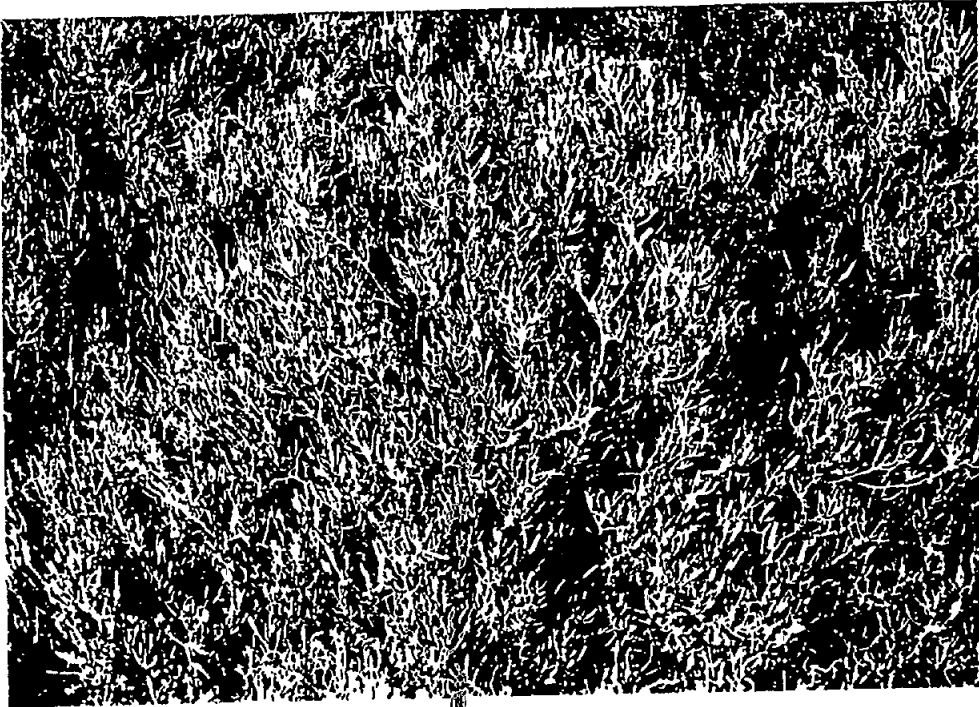
N.B: Les valeurs en gras représentent les écarts statistiquement significatifs au seuil de 5 pour cent.

Planche 1

Individus illustrant la végétation spontanée de la zone
Végétation climacique: milieu salé



Végétation halophile: *Salsola tetrandra* & *Suaeda mollis*
(en arrière plan on observe le Phare de Thyna)



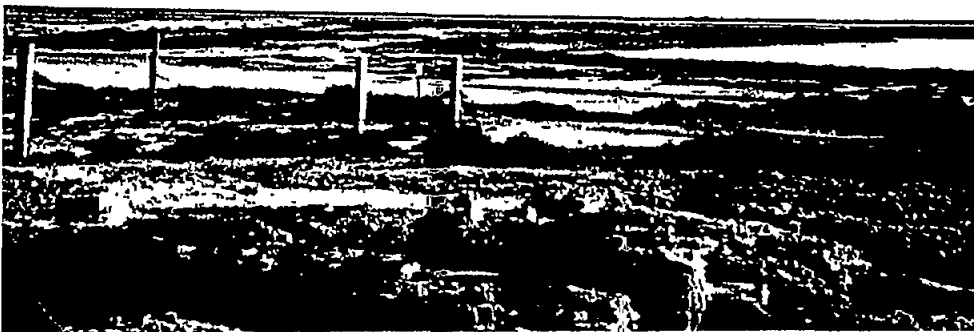
Végétation halophile: *Limoniastrum monopetalum*

Planche 2

Individus illustrant la végétation spontanée de la zone
Végétation climacique: milieu salé (suite)



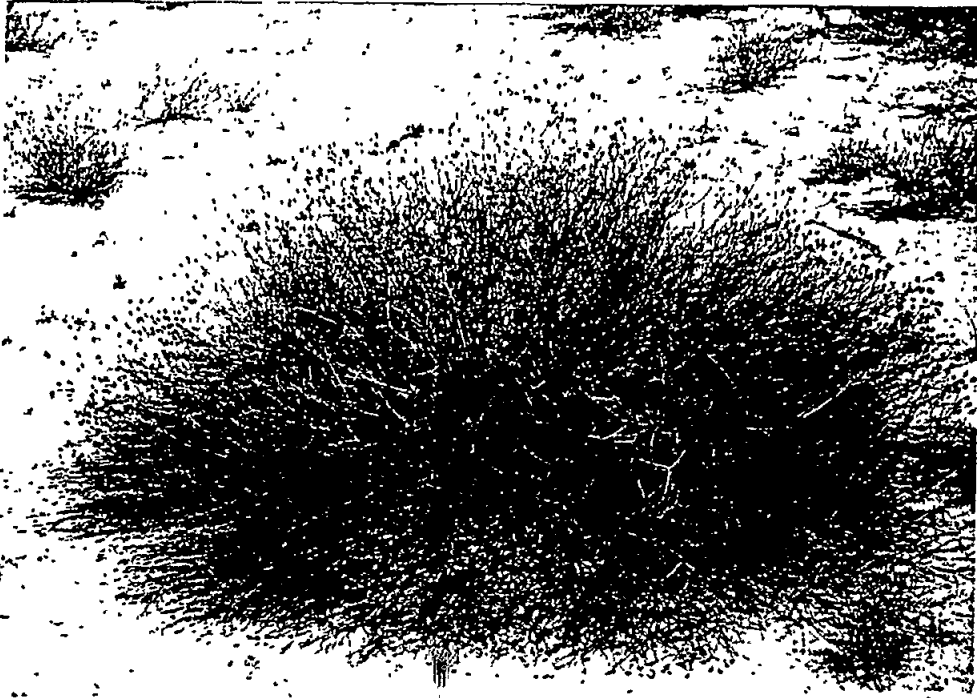
Végétation halophile: *Suaeda maritima*



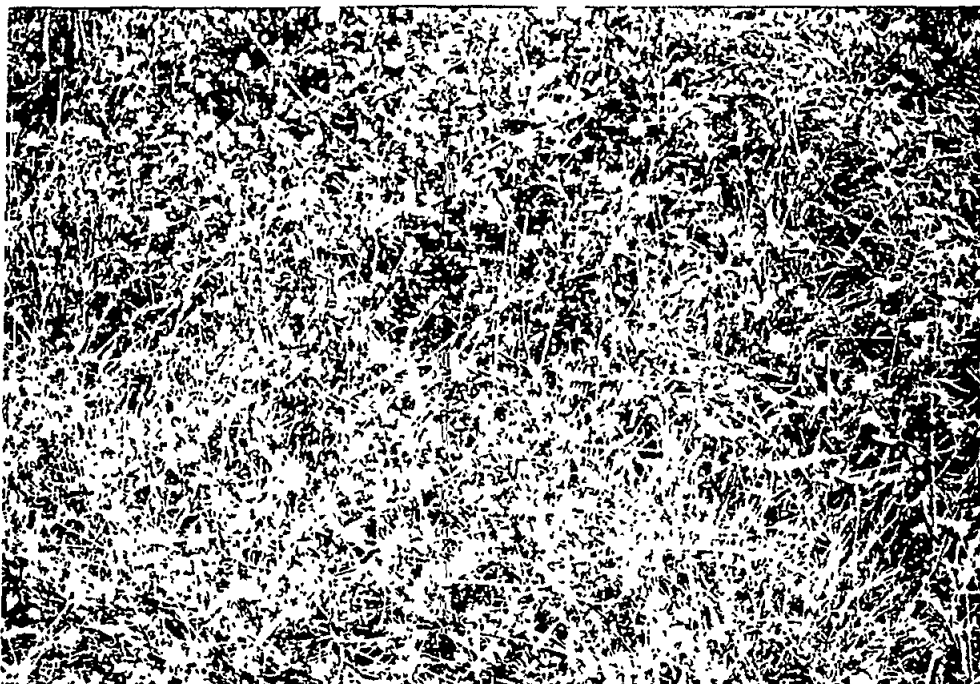
Végétation halophile et site archéologique de thyna

Planche 3

Individus illustrant la végétation spontanée de la zone
Végétation climacique: milieu non salé



Végétation climacique: *Rhanterium suaveolens*



Végétation messicole: *Centaurea furfuracea*

Planche 4

Individus illustrant la végétation cultivée de la zone



L'olivier est une espèce très caractéristique de la zone



Individu d'amandier (seconde espèce caractéristique du milieu)

Planche 5

Individus illustrant la végétation cultivée de la zone (suite)



Individu d'abricotier



Individu de cactus

**IMPLICATIONS OF CLIMATE CHANGES
FOR THE SFAX COASTAL AREA
(TUNISIA)**

Document prepared by:

K. Zouari (Coordinator)

J. Bouzid, A. Bousnina, Med. Chayeb, N. Karray, N. Bradai

TABLE OF CONTENTS

	Page
EXECUTIVE SUMMARY	163
BACKGROUND	167
1. INTRODUCTION	169
1.1. Objectives of this study	169
1.2. General data on global warming	169
1.3. Basic data on the Sfax coastal area	171
1.4. Methods and assumptions used in this study	175
2. DETERMINATION OF THE PRESENT SITUATION AND THE POSSIBLE CONSEQUENCES OF FUTURE CLIMATIC CHANGES	178
2.1. Climatic and atmospheric conditions	178
2.1.1. Insolation and solar radiation	178
2.1.2. Thermal characteristics of the Sfax coast	178
2.1.3. Atmospheric humidity	181
2.1.3.1. Average rainfall regimes	181
2.1.3.2. Days and intensity of rainfall at Sfax	181
2.1.3.3. Rainfall variability	186
2.1.3.4. Rainfall mechanisms	187
2.1.4. Hydrometeorological phenomena at Sfax	189
2.1.5. Surface winds at Sfax	189
2.1.6. Piche evaporation	191
2.1.7. Secular climate trends along the Sfax coast	191
2.1.7.1. Introduction: data quality	191
2.1.7.2. Recent climatic changes at Sfax	193
2.2. Lithosphere	205
2.2.1. Geological setting	205
2.2.2. Geomorphological setting	206
2.2.3. Pedology	206
2.3. Hydrosphere	209
2.3.1. Surface hydrology	209
2.3.2. Hydrogeological setting	210
2.3.2.1. Ground water	210
2.3.2.2. Deep water table at Sfax	216

2.4. Natural ecosystem	217
2.4.1. Terrestrial ecosystem	217
2.4.1.1. Saline ecosystem	217
2.4.1.2. Non-saline ecosystem	218
2.4.2. Fresh-water ecosystem	220
2.4.3. Marine ecosystem	220
2.4.3.1. Introduction	220
2.4.3.2. Sedimentology and the biocoenose	221
2.4.3.3. Physico-chemical parameters	221
2.4.3.4. Oceanographic conditions	224
2.4.3.5. Bio-ecological context	226
2.5. Managed ecosystem	231
2.5.1. Agriculture	231
2.5.1.1. Dry agriculture	231
2.5.1.2. Irrigated agriculture	232
2.5.2. Fisheries	232
2.5.2.1. Introduction	232
2.5.2.2. Production	232
2.5.2.3. Fishing fleet	234
2.5.2.4. State of exploitation of the marine resources	235
2.5.2.5. Maritime population	237
2.5.2.6. Exportation of fishery products	237
2.5.3. Aquaculture	238
2.5.4. Forestry	238
2.5.5. Pollution	238
2.6. Energy and industry	238
2.6.1. Energy	238
2.6.2. Industry	239
2.7. Tourism	242
2.8. Transport and services	243
2.9. Sanitation and health	246
2.10. Population and housing	248

3.	POTENTIAL IMPACTS FORESEEN IN NATURAL SYSTEMS AND IN SOCIO-ECONOMIC ACTIVITIES	254
3.1.	Climatic trends in the Sfax region	254
3.1.1.	Introduction	254
3.1.2.	Models and modelling	254
3.1.3.	Climate scenarios	255
3.1.3.1.	Generalities	255
3.1.3.2.	Climate scenarios: application to the Sfax coastal area	255
3.2.	Lithosphere	257
3.3.	Hydrosphere	260
3.4.	Natural and managed ecosystems	260
3.4.1.	Terrestrial and managed ecosystems	260
3.4.2.	Marine ecosystem	261
3.5.	Socio-economic activities	262
3.5.1.	Energy and industry	262
3.5.2.	Tourism	262
3.5.3.	Transport and services	262
3.5.4.	Sanitation and health	263
3.5.5.	Population and housing	263
4.	RECOMMENDATIONS	264
4.1.	Appropriate options proposed under this study	264
4.1.1.	Atmosphere	264
4.1.2.	Lithosphere	264
4.1.3.	Hydrosphere	264
4.1.4.	Natural and managed ecosystems	265
4.1.4.1.	Terrestrial and managed ecosystems	265
4.1.4.2.	Marine ecosystem	265
4.1.5.	Socio-economic activities	266
4.1.5.1.	Energy and industry	266
4.1.5.2.	Tourism	266
4.1.5.3.	Transport and services	266
4.1.5.4.	Sanitation and health	266
4.1.5.5.	Population and housing	267
4.2.	Suggested follow-up of this study	267

REFERENCES	269
ANNEX I Members of the Working Group	275
ANNEX II Temperature and Precipitation Scenarios for the Malta Region developed by the University of East Anglia and used in this study	277
ANNEX III Quality Control of Climatic Data Used in the Present Study	301
Plates	307

EXECUTIVE SUMMARY

This document presents the implications of climate changes for the Sfax coastal area (Tunisia) and is part of the agreement on the Coastal Area Management Programme for Sfax.

This programme falls within the framework of the UNEP Mediterranean Action Plan in conformity with the decisions of the Ordinary Meetings of the Contracting Parties to the Barcelona Convention, in close co-operation with the Tunisian authorities.

This report is the result of collaboration amongst scientists in the various disciplines covered by the working group. This group was charged with evaluating the possible implications of climate changes for the natural systems and socio-economic activities in the Sfax coastal area.

This study attempts, among other things, to: (i) identify and evaluate the possible implications of expected climate changes for terrestrial, aquatic and marine ecosystems, and for socio-economic activities; (ii) determine the areas or systems likely to be the most vulnerable to expected climate changes; (iii) propose, for all the natural and socio-economic activities, appropriate measures and solutions likely to attenuate the possible negative effects due to climate changes.

The study area, which was adopted for the Sfax Coastal Area Management Programme, covers part of the coastal zone of the Sfax urban area, from the commercial port in the north to the Nakta Chaffar area in the south - about 25km of coastline and a hinterland extending to kilometre 12 on the Agareb-Gafsa highway and to kilometre 25 on that of Gabès.

This area covers a vast plain that is part of the lowlands which are practically flat. It comprises the southern beach strip of the city of Sfax and is characterised by the large "Siape" chemical plant, an industrial zone, the salt beds, the future development axis of Sfax and the medina (fort).

The Sfaxian plain has a lowland climate with a marine influence. The rainfall regime is very irregular, with an annual average of about 215mm. The temperature varies between 12°C on average in winter and 26°C on average in summer.

Sfax is marked by the development of a solid regional economy based on agriculture, commerce and industry. At present, industry plays an important role in meeting local needs as well as in exportation. This industry comprises, among other things, the salt beds, and the "Siape" chemical plant for the transformation and refinement of rough phosphate. Other industrial sectors are undergoing rapid growth: textiles, garments, leather, agro-food, construction materials, ceramics and glass etc.

The petroleum industry, which is a new component of Sfax's industrial base, is growing steadily, through the exploitation of the offshore oil fields of Miskar and Ashtart.

Nevertheless, these industrial units, and particularly the phosphate unit, is the source of a very worrying atmospheric and aquatic pollution. In effect, the treatment of phosphate at the "Siape" plant has led to the accumulation of voluminous deposits of phosphogypsum on the Sfax beaches.

This source of industrial pollution, as well as other sources, poses a serious environmental problem.

Agriculture is one of the main resources of the region. With 6 million olive-tree stands and nearly 5 million almond trees, the Sfax governorate is among the region's leading producers of olive oil (45% of the national production) and almonds (30% of the national production). The Sfax olive groves, covering 308,486 hectares, are among the most beautiful in the world.

Animal farming is also an important component of the regional economy, and a milk industry has grown up in the wake of the intensive animal farming.

For a very long time now, fishing has occupied a leading place in the local, as in the national, economy. Current annual production is about 30,000 tons, about a third of the national production; about 70% of the Tunisian seafood products are exported. Port infrastructure has improved in parallel with the fishery.

The rapid development of the Sfax region, and particularly the development of industrial and agricultural production methods, has led to the inconsiderate discharge of waste gases into the atmosphere. These uncontrolled discharges could lead to a progressive increase in the temperature by amplifying the greenhouse effect and therefore to a real modification of the climate, hence of the various ecosystems.

Because of this, the working group has attempted to prepare a future climate scenario for the Sfax region. The results obtained (for temperature and precipitation) from this local climate model have led the working group to present the possible impacts on the terrestrial and marine ecosystems and on socio-economic activities, on the one hand, and to make some recommendations and suggestions, on the other hand.

The future climate scenario is derived from those developed by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) and the University of East Anglia (UEA) for the Mediterranean region. Indeed, the future climate scenario proposed by UEA for Malta is based on climate data obtained by stations in various Mediterranean countries. Several of these stations are located in Tunisia. Thus, an extrapolation of the Malta study was feasible and has allowed the following forecast: for each °C global increase, there would be a temperature increase of 0.7° - 0.9°C by the year 2030, at the annual as well as the seasonal level; this increase would also be valid for the time horizons of 2050 and 2100.

Regarding rainfall, the same model forecasts an annual increase of 6 - 9% for each °C of global mean temperature change, relative to present values. The forecast increase in rainfall would be most marked in winter (8 - 12%) and in the autumn (5 - 10%).

Moreover, the climatological analysis (temperature and precipitation) of long time-series data from Sfax (1901 - 1985) reveals certain general, significant trends.

In effect, the statistical analysis of mean temperatures shows that, for the period 1901 - 1985, these temperatures have a clear tendency to increase. The annual warming, at the rate of 0.009°C, is in any case significant.

The application of the same statistical procedures to the rainfall data leads to inconsistent results. Although, overall, an increasing trend is sometimes observable, it is very weak and is not statistically significant.

The values obtained (for temperature and rainfall), even if weak, particularly for the temperature (less than 1°C), allowed the working group to see whether the temperature and rainfall increase forecast would have any impact on the various ecosystems, on the one hand, and to formulate a certain number of recommendations, on the other hand. Among these are the following:

- the preparation of a climate atlas for Tunisia should be encouraged, since such an atlas could provide a basis for any climatic or environmental study;
- for the simulation models not to remain at a stage of preliminary development and to minimise the uncertainty, it is necessary to set up stations to provide regular and reliable data on, in particular: atmospheric pressure, temperature, insolation, the infra-red radiation from the soil, winds and humidity;

- to control gas emissions into the atmosphere (CO_2 , SO_2 , SO_3 , NO_2 etc.) and the atmospheric aerosols, especially those produced by Man, it is necessary to establish monitoring networks in the vicinity of industrial plants.

If the presence of the various chemical elements causes obvious atmospheric pollution, the treatment of the factory fumes by different methods at the sources would be desirable. It would also be desirable to:

- make the industrialists more aware of the problems and incite them to respect the environment and prevailing standards rigorously;
- pay increased attention to the beach dynamics of the Sfax region, so as better to appreciate the impact of a possible rise in mean sea level, which would facilitate the development of an evolving scenario that would take into account the interactions amongst the rates of subsidence, sedimentation and terrigenous inputs;
- launch an evaluation, and the management, of the water resources of the Sfax region, so as to be able to respond to the growing demand due particularly to the industrial and agricultural transformations, without, however, compromising water quality, and taking into account the real danger of seawater intrusion.

Finally, the working group recommends the structuring of the research effort in Tunisia in the domains of climatology, palæoclimatology and environment. Regular scientific meetings to this end should be organized to allow scientists to discuss the progress of the research in these fields, so that the decisions taken at the local, regional and global levels have a rational basis.

BACKGROUND

In the framework of the efforts made by the UN Environment Programme (UNEP) in (i) the analysis of possible effects of climate changes and (ii) assistance to governments to develop policies and measures likely to prevent or attenuate such effects, or at least to adapt to them, working groups were created in 1987. These groups have been working in six of the Regional Seas programmes sponsored by UNEP (Mediterranean, Caribbean, South Pacific, East Asian Seas, South Asian Seas, South-east Pacific); they were charged with undertaking studies of the impact of climate changes on the marine and coastal ecosystems, as well as on the socio-economic structures and activities, in these regions.

New working groups have subsequently been created to undertake similar work in West and Central Africa, East Africa, the Gulf, the Gulf of Aden/Red Sea, and the Black Sea.

During the work carried out in the Mediterranean region (1987-1989), it was realized that, if the general effects might be similar over the whole Mediterranean region, the efforts to combat the effects should be markedly specific to each site. Therefore, under the Mediterranean Working Group, six specific case studies were undertaken in 1989 (for the Ebro, Rhone, Po and Nile deltas, Thermaikos Gulf, and Lakes Ichkeul/Bizerta). The final results of these studies were published in the book "Climatic Change and the Mediterranean" (under the direction of L. Jeftic, J.D. Milliman and G. Sestini, and published by Edward Arnold, London, 1992).

Nevertheless, during the preparation of these case studies, it became evident that the prediction of impacts was limited because of the lack of future climate scenarios at the regional, sub-regional and local levels. For this reason, the Climate Research Unit of the University of East Anglia was charged by UNEP with the development of a scenario for the Mediterranean basin and to develop future local climate scenarios for each of the six approved studies.

In 1990, taking advantage of the experience acquired in the "first-generation" case studies, "second-generation" case studies were initiated for the island of Rhodes, Kastela Bay, the Syrian coast, Maita and the islands of Cres-Losinj.

These studies had the following objectives:

- to identify and evaluate the possible implications of expected climatic changes for the terrestrial, aquatic and marine ecosystems, the population, land-use and sea-use practices, and other human activities;
- to determine the areas or systems likely to be the most susceptible to the expected climatic changes;
- to propose measures to attenuate or prevent the negative effects of the expected changes, or to facilitate adaptation to them, by recourse to planning and management of the coastal areas and their resources, on the basis of presently available data and on the best possible extrapolation of these data.

The final results of these five case studies were presented to the Meeting on the Implications of Climatic Changes for the Coastal Areas of the Mediterranean, which took place in Malta in September 1992. The report of this meeting, comprising the main results, the conclusions and the recommendations, was published as document UNEP(OCA)/ MED WG.55/7.

"Third-generation" case studies were initiated in 1993 under the Coastal Area Management Programme (CAMP) for the specific sites of Fuka-Matruh, the Albanian coast, and the Sfax coast. For each of these studies, working groups were established and the same procedure was followed as that of the "second-generation" case studies.

The present report covers the implication of climate changes for the Sfax coastal area. The work was carried out by a team of university teachers of various disciplines (Annex I). The latter cover the fields of the natural and social sciences. The members of the group possess a deep knowledge of the subject of study.

The national and regional authorities, and especially those responsible for the CAMP project in Tunisia, greatly helped the group charged with the conduct of this study.

Also, the working group worked very closely with the UNEP consultant, and the major lines of the work, its progress and the recommendations suggested by the group were fully discussed with the consultant.

1. INTRODUCTION

1.1. Objectives of this study

This programme falls within the framework of the UNEP Mediterranean Action Plan in conformity with the decisions of the Ordinary Meetings of the Contracting Parties to the Barcelona Convention, in close co-operation with the Tunisian authorities.

The programme is based on the promotion of the planning of integrated management of coastal resources and of sustainable development. This comprises ten actions relating to the overall objective.

The present report is the object of action on the "Impact of Expected Climate Changes on the Sfax Coastal Area".

The long-term objectives of this programme comprise: (i) proposing a development concept of the Sfax coastal area in harmony with the receiving capacity of the environment; and (ii) creating conditions for the establishment of a system for planning and integrated management of the resources of the area.

The immediate objective of the programme is to provide, through various activities, solutions to the most urgent environmental problems.

This study therefore proposes to:

- evaluate the possible effects of temperature increases on the terrestrial, aquatic and marine ecosystems (especially the possible effects on commercially important species);
- examine the effects of climate changes on the socio-economic structures and activities in the areas or systems that seem likely to be the most vulnerable to the afore-mentioned changes;
- propose appropriate management and general intervention options through the examination of possible effects of changes in mean sea level on the ecosystems.

1.2. General data on global warming

The global warming of the Earth expected to occur during the next century is now one of the main climatic concerns. The interest shown in this problem no doubt resides in the fact that the expected climate change seems to have a human rather than a natural cause. The mechanism of this warming is already fairly well understood. It is due to, among other things, the increase in the concentration of carbon dioxide (CO₂) and of other gases such as methane (CH₄), nitrous oxide (N₂O), ozone (O₃) and chlorofluorocarbons (CFCs). These gases, although constituting only a tiny proportion of the atmosphere, play an important radiative role inasmuch as they trap infra-red radiation from the Earth's surface and contribute, by this greenhouse effect, to the heating of the atmosphere.

Nevertheless, these gases do not all contribute to the same degree to the intensification of the greenhouse effect. Overall, more than half the disturbance of the Earth's radiative balance is attributable to CO₂.

However, water vapour (H₂O) is the most important factor in the greenhouse effect owing to its great capacity to absorb infra-red and visible radiation. It is an internal component of the climate system and its concentration is not directly determined by human activities. It has a "natural" source in the ocean and, by evapotranspiration, in the atmosphere. Water plays a leading role in the intensification of the greenhouse effect inasmuch as the foreseen warming of the lower atmosphere will favour evaporation and therefore increase atmospheric humidity.

Since the industrial revolution, the consumption of fossil fuels and deforestation, especially in the tropics, have caused an increase in the concentration of CO₂ of about 26%. A similar proportion corresponds to the other greenhouse gases. Thus, CO₂, methane and nitrous oxide (N₂O) all have human and natural sources, whereas the CFCs have a purely human (industrial) origin.

The present concentration of CO₂ (1990) is 0.0353% by volume, which is about 25% above the level typical of the pre-industrial era (1750-1800) when the concentration was estimated to be 0.0280% by volume. At the present rate of increase, the CO₂ level is growing at the rate of 0.0018% per year, so the level in 2050 would be between 0.0415 and 0.0480%, and between 0.0460 and 0.0560% towards the end of the next century. The growing rate of carbon-dioxide emissions requires, if the objective is to maintain its atmospheric concentration at the present level, an immediate reduction of 60 to 80%, especially in the northern hemisphere where 95% of all industrial emissions (of CO₂) occur.

The greenhouse effect is moreover also maintained by the presence of methane (CH₄), nitrous oxide (N₂O) and the chlorofluorocarbons (CFCs). Greenhouse gases have different concentrations and contribute unequally to the effect. The most recent estimates for the last decade confirm this.

If no action is taken to reduce these emissions, the scientific community, basing its opinion on models, foresee a warming of 2 to 5°C in the next century, which represents a rate of increase not observed for the last 10,000 years.

Besides this, the rainfall cycle and intensity are often favoured by the temperature difference between land and sea. Since the land and the sea have different effective thermal inertias, a large-scale warming could affect this contrast, possibility reducing it during the winter, leading to a reduction in rainfall and stormy weather, notably in the eastern basin. On the other hand, higher sea-surface temperatures, in the Mediterranean and in the North Atlantic, could lead to an increase in atmospheric humidity and therefore to rainfall.

Another major effect of atmospheric warming is an increase in mean sea level due to the melting of the polar ice caps, alpine glaciers and the thermal expansion of the ocean water. The mean sea level has increased since the last glacial maximum about 18,000 years ago (an increase of about 10mm per year). In recent historic times, the rate has been between 0.5 and 1.5mm per year. The analysis of sea-level gauge data, the principal source of information for determining mean-sea-level rise in the short term, suggests that global increase has been about 1.0-1.5cm over the last one hundred years.

Depending on the degree of oceanic thermal expansion and the response of the polar ice caps (Greenland and the west Atlantic floating ice sheet), the range of prediction, from conservative to average, of mean-sea-level increase is 13-39cm (from now till 2025), 24-52cm (till 2050) and 35-100cm (till 2100).

There will, however, be a significant time lag in the mean-sea-level rise, related to the ocean's thermal inertia. For example, if the greenhouse gases ceased to increase in 2030, the warming would continue for several decades. Since ocean thermal expansion and polar ice-cap melting would likewise continue, so would mean-sea-level rise.

The effect of tectonic compression and local sedimentation would be superimposed on mean-sea-level rise. Vertical crustal movements occur regularly in the Mediterranean at the rate of 1 to 5mm per year, based on the average rate for several thousand years, and at a rate of 3 to 20mm per year if the average over 15-20 years is used. Local subsidence can exceed 5mm per year. It follows from this that the economic cost of protecting or of abandoning land or construction in the Mediterranean coastal strip will depend largely on the local crustal movements related to mean sea level increase. In the event of land subsidence, the relative net change could be more important than the global eustatic increase in mean sea level; in the event of land elevation, the relative net change would be far less.

1.3. Basic data on the Sfax coastal area

The study area comprises a part of the coastal strip of the Sfax urban zone, from the commercial port in the north to the Nakta Chaffar area in the south - about 25km of coastline and a hinterland extending to kilometre 12 on the Agareb-Gafsa highway and to kilometre 25 on that of Gabès (Figure 1).

This coastal area has been chosen in conformity with agreement on the Sfax Coastal Area Management Programme. However, to ensure the reliability and representativeness of the information submitted, it was occasionally necessary to go outside the agreed study area.

This area covers a vast plain that is part of the lowlands which are practically flat. It comprises the southern beach strip of the town of Sfax and is characterized by the large "Siape" chemical plant, an industrial zone, the salt beds, the future development axis of Sfax: Thyna, with its city park, the future area set aside for the Miska project, the resort development area of Naktar Chaffar (expected to become a future touristic area) and the Medina (fort), with its cultural dimension (Figure 2).

Sfax is the second-largest city after Tunis and was known in the past by the name of Thyna; it has conserved the contributions of other civilizations.

The Sfax region is bordered to the east by the Mediterranean over a distance of more than 230km. The total surface area is about 708,600 hectares, of which, 638,000 are cultivable.

The general landscape of the Sfax urban area and its surroundings is marked by a predominant low-lying slightly undulating plain. It generally comprises vast alluvial basins often occupied by more or less extensive salt lakes ("sebkhas"). The topography tends to become more strongly undulating towards the coast and less so towards the south.

The Sfax plain has a steppe climate under marine influence. The rainfall is very irregular; interannual rainfall decreases from 300mm in the north to 150mm on average in the south, with the coastal strip generally being wetter than the hinterland, with an annual average of about 215mm. The temperature varies between 12°C on average in winter and 26°C on average in summer.

The weak rainfall and the permeable nature of the sandy soils in this region explain the rapid drainage, the importance of endoreism and therefore the presence of numerous "garaas" and "sebkhas", as well as limiting exoreic drainage.

The water resources amount to 50 million cubic metres (groundwater plus deep water table). Its salinity, however, varies between 2.5 and 10, making the water generally unsuitable for drinking purposes.

The city drinking-water supply comes from the water sources of the Sbeitla region (centre-west of Tunisia) via a pipeline 219km long.

Moreover, given the almost sacred value the local population attaches to the water, the majority of houses are equipped with "majels" which are traditional structures by which to collect rain water.

The city of Sfax has a population that is about 53% of that of the governorate, or about 400,000 inhabitants (1994 census). This population is growing at a rate of about 2.1% per year, which is one of the lowest rates in Tunisia. It is manifested in a drop in the average urban population density (20 inhabitants per hectare in 1994).

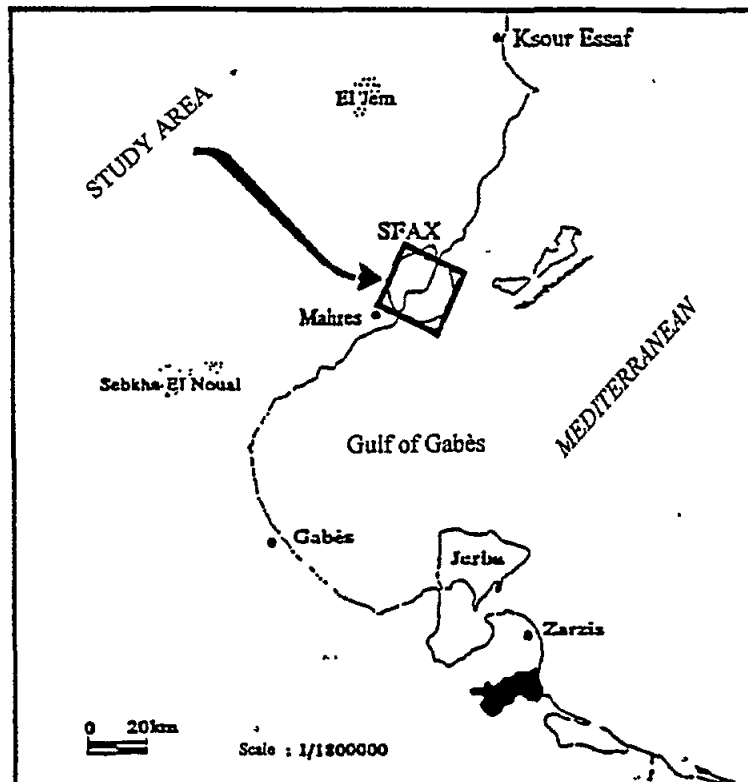
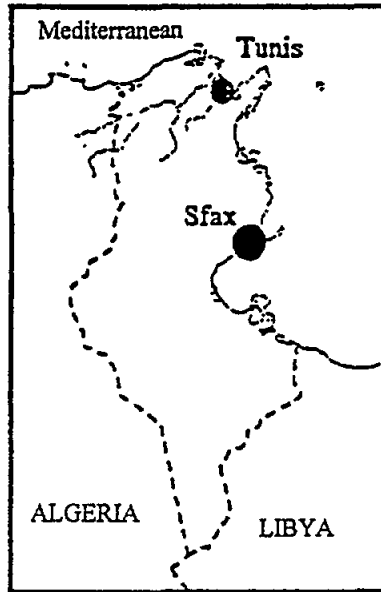


Figure 1. Location of the study area

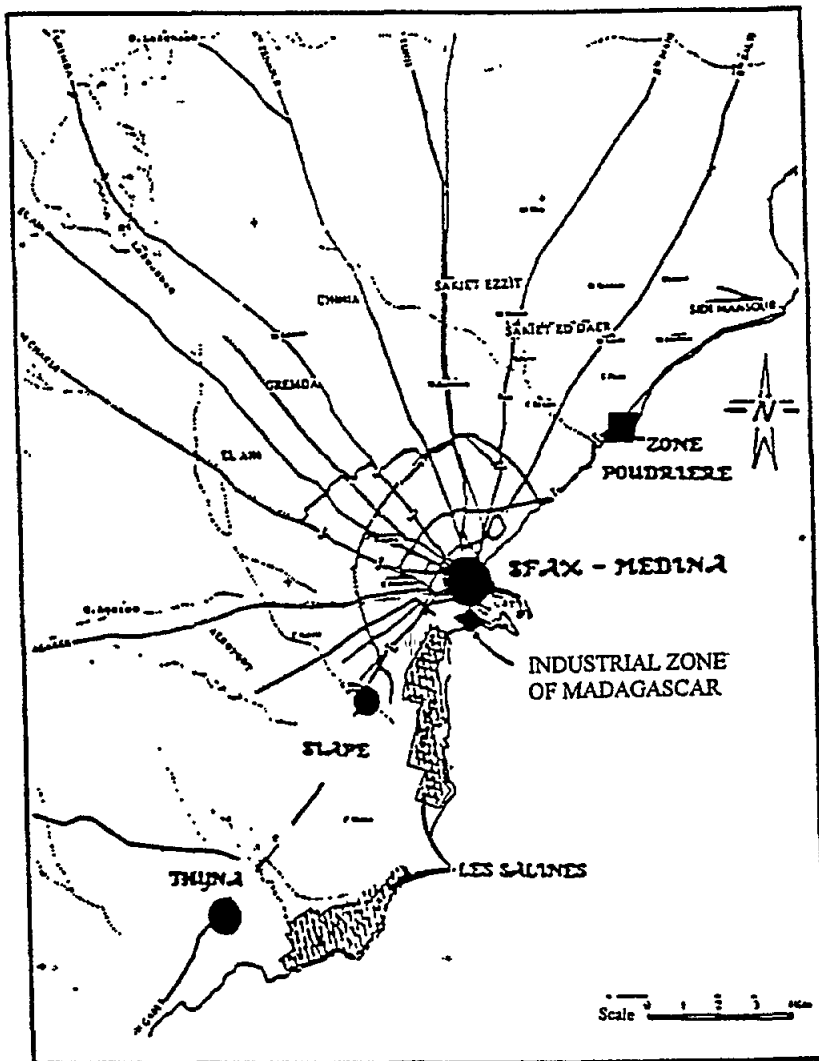


Figure 2. Major industrial installations in the study area

Sfax is the focus of a vast region that has, since Roman and Byzantine times, always known an intense economic activity, having played a pivotal role between the economic and cultural currents based on maritime and trans-saharan traffic. The characteristic of this region is the establishment of a sound regional economic structure based on the combination of agriculture, commerce and industry. Industrial activity, which plays an important role in meeting local needs as well as production for export, is now more important than agriculture.

Some 400 hectares, already developed or being developed, have been earmarked for industry. Besides this area, 100 hectares will be assigned to an industrial and technological park in the vicinity of Thyna.

The coastal area that is the object of the present study alone houses more than 90% of the industrial base; it comprises the industrial zone proper, the salt beds and the large "Siape" chemical plant. The latter undertakes the transformation and refinement of rough phosphate and accounts for the related local phosphoric acid and fertilizer production.

Other industrial sectors are also expanding. Statistics show that there are some 4000 firms covering several fields: textiles, clothing, leather, joinery, electricity, electronics, agro-food, construction materials, ceramics, glass etc.

The petroleum industry, which is a new component of Sfax's industry, is steadily consolidating its position, notably, in recent years, through British Gas which is charged with exploiting the offshore oil fields of Miskar and Ashtart. A terminal and a liquid gas plant have been set up at Nakta, to this end.

Nevertheless, these industrial installations, and especially the phosphate plant, are the source of serious pollution. The treatment of phosphate ores at the "Siape" plant has led to the accumulation of large deposits of phosphogypsum along the Sfax shoreline. This by-product covers an area of some 30 hectares to a height of 30m. Other, even larger (57ha), deposits can be seen in the city centre and are washed by the Mediterranean Sea.

This source of industrial pollution, and many others (as direct discharge into the sea of waste waters loaded with heavy metals, gas emissions of various origins, etc.), pose a serious environmental problem which has led the local authorities to ban sea bathing since 1978.

To remedy this situation partially, the local authorities have decided, in the context of the big Taparura Project, to undertake the cleaning up of this coastal strip with the objective of creating 5km of beach through the reclamation of some 150ha of land from the sea, thus allowing the establishment of a recreation area.

Agriculture is one of the main resources of the region. With 6 million olive-tree stands and nearly 5 million almond trees, the Sfax governorate is among the region's leading producers of olive oil (45% of the national production) and almonds (30% of the national production). The Sfax olive groves, covering 308,486 hectares, are among the most beautiful in the world.

Animal farming is an equally important component of the regional economy, and a milk industry has grown up in the wake of the intensive animal farming, producing 20,000 tons or more of milk per year.

For a very long time now, fishing has occupied a leading place in the local, as in the national, economy. Current annual production is about 30,000 tons, about a third of the national production; about 70% of the Tunisian seafood products are exported. Port infrastructure has improved in parallel with the fishery.

1.4. Methods and assumptions used in this study

Study of the impact of climate changes on the Sfax coastal area is based on:

- results obtained from the analysis of climate data available for the Sfax area;
- postulates adopted at the Second World Climate Conference (Geneva, 1990), namely, a temperature increase of 2.5°C and an increase in mean sea level of 35 to 100cm, between now and the end of the 21st century;
- results of climate-change scenarios for the Mediterranean developed by the University of East Anglia Climate Research Unit.

The future climate scenario for the Sfax coastal area (temperature and rainfall) has been developed from scenarios developed by the IPCC and the UEA. In effect, the scenario proposed by the UEA for Malta is based on climate data obtained by numerous stations in various countries of the Mediterranean basin, including several in Tunisia. This has allowed the extraction of the results from the Malta scenario, which are given in Table 1.

Details of the methods used are given in Annex II.

Interpretation of the results: problems and precautions

The interpretation of the results calls for much prudence and it is worth pointing out several considerations:

- The scenarios are not forecasts, strictly speaking, and should not be considered as such, inasmuch as many doubts persist with respect to these scenarios, which is why the term scenario is preferred to forecast.
- The numerous doubts about the expected warming relate to the timing of its onset, its magnitude, and the local characteristics. These doubts arise from the fact that the working of the climate system is still poorly known, notably its underlying mechanisms, cloud formation (microphysical processes) and the sources and sinks of the greenhouse gases. In this sense, it is necessary to evoke the crucial role of the world ocean. All the models now in use consider the *ocean-atmosphere coupling only for the air-sea interface, but the ocean does not react to all radiation forcing perturbations through its surface waters; it also reacts through its deep waters, the reactions of which are no less important but require a much longer response time. Thus, the deep ocean circulation can considerably attenuate the radiative forcing factors. This deep mixing is not taken into account in the various models.*
- Although the value of the currently available climate models is undeniable, it should be pointed out that the parametrization of the various components of the climate system remains, overall, very schematic.
- Future emissions of carbon dioxide cannot be clearly foreseen because of the doubts due to changes in economic policy and to the different possible strategies for energy consumption. The question is even more crucial for developing countries.
- Climate sensitivity ($2 \times \text{CO}_2$) differs significantly from one model to another, sometimes by a factor of 2.

Table 1. Future climate scenarios for Sfax, derived from scenarios established by IPCC and the University of East Anglia.

SCENARIO	HORIZON		
	2030	2050	2100
<u>IPCC GLOBAL</u>			
Temperature	+1.8°C	-	+2 to +5°C
Mean sea level	+18cm ±12cm	-	+65cm ±35cm
<u>IPCC Southern Europe</u>			
Temperature	+2°C in winter +2 to +3°C in summer	-	-
Rainfall	+0 to +10% in winter -15 to -25% in summer	-	-
Soil humidity	-15 to -25% in summer	-	-
<u>UEA: Mediterranean</u>	For each °C of global increase		
Rainfall	+3% in winter -3% in summer	-	-
<u>UNEP Task Teams</u>			
Temperature	-	+1.5 to +3°C	-
Mean sea level	-	+38cm ±14cm	-
<u>Sfax. derived from UEA Malta model</u>	For each °C global increase		
Temperature			
Annual	+0.8 to 0.9°C	As for 2030	As for 2030
Winter	+0.8 to 0.9°C		
Spring	+0.7 to 0.8°C		
Summer	+0.8°C		
Autumn	+0.8 to 0.9°C		
Rainfall*			
Annual	+6 to +9%		
Winter	+8 to 12%		
Spring	0 to -6%		
Summer	. Not forecast		
Autumn	+5 to +10%		

* Rainfall changes are expressed as a percentage relative to current values

- The various scenarios have a low confidence level, often differing by a factor of 2.
- The major source of doubt arises from feed-backs that control the global climate system, not only because of their large number but also of their extreme complexity. A recent theory ascribes a chaotic behaviour to the atmosphere, not without good reason.

2. DETERMINATION OF THE PRESENT SITUATION AND THE POSSIBLE CONSEQUENCES OF FUTURE CLIMATIC CHANGES

2.1. Climatic and atmospheric conditions

2.1.1. Insolation and solar radiation

Owing to Sfax's geographical location, its climate is strongly marked by radiation factors. The Sfax coastal strip often enjoys clear skies. The annual average number of hours of sunshine reaches 3185 hours, which corresponds to a mean insolation index of 72%. Although high, this value falls between that of Monastir (2861 hours), to the north, and that of Gabès (3258 hours), to the south (El Cafsi, 1988).

On the monthly and seasonal scales, solar insolation is high throughout the year, varying between 6.1 hours per day in January and 12.3 hours per day in July, the sunniest month of the year not only for Sfax but also for Tunisia as a whole. These average daily insolation values nevertheless hide a significant interseasonal variability (Figure 3).

Expressed in terms of standard deviation (σ), the variability of the insolation increases from September ($\sigma = 2.5$) reaching a maximum ($\sigma = 3.4$) in April. This may be directly attributed to the dynamism of synoptic situations to the extent that, in this interval, the Sfax coastal area is directly subject to the influence of polar advection. It is, in effect, during this "season" that the rainfall assumes a relative importance.

Starting in May, the effect of the polar processes weakens considerably. Anticyclonic situations then become predominant. The stability of the weather therefore ensures steady insolation, especially in July, when the standard deviation falls to its lowest level: only 1.2 hours.

For the period 1971-1980, the insolation index is particularly high (Figure 4). The index is lowest for January and February, at 62%, after which, there is a steady increase in the amount of sunshine to the maximum values in summer, especially in July, with an index of 87%.

Owing to a low level of cloud coverage, the Sfax coastal area also benefits from a substantial solar energy input; annual amounts recorded for the period 1968-1980 are as high as 163kcal/cm² per year. The total average radiation recorded varied from 8kcal/m² per month, in December, to 20kcal/m² per month, in July.

2.1.2. Thermal characteristics of the Sfax coast

The excess energy input strongly influences the thermal conditions. The Sfax region has a rather warm Mediterranean type of climate. The mean annual temperature is as much as 19.0°C ($\pm 0.06^\circ\text{C}$). The thermal regime is marked by the presence of two alternating, but quite distinct, seasons (Figure 5):

Winter, which extends practically from December to April, is characterized by its mildness; the average temperature is up to 12.3°C ($\pm 0.09^\circ\text{C}$). The average daily maxima are around 16.9°C ($\pm 0.11^\circ\text{C}$), whereas the nocturnal minima fall to 7.8°C ($\pm 0.11^\circ\text{C}$) on the average. In no month does the mean temperature fall below 10°C. In January and February, the coldest months of the year, the average temperature is 11.5°C and 12.5°C, respectively.

This winter mildness does not, however, exclude the possibility of advection of cold polar air bringing significant temperature changes. Occasionally, intense cold waves cause a drop in temperature to negative levels, as happened, for instance, in December 1951 (-1.0°C) and January 1957 (-2.3°C).

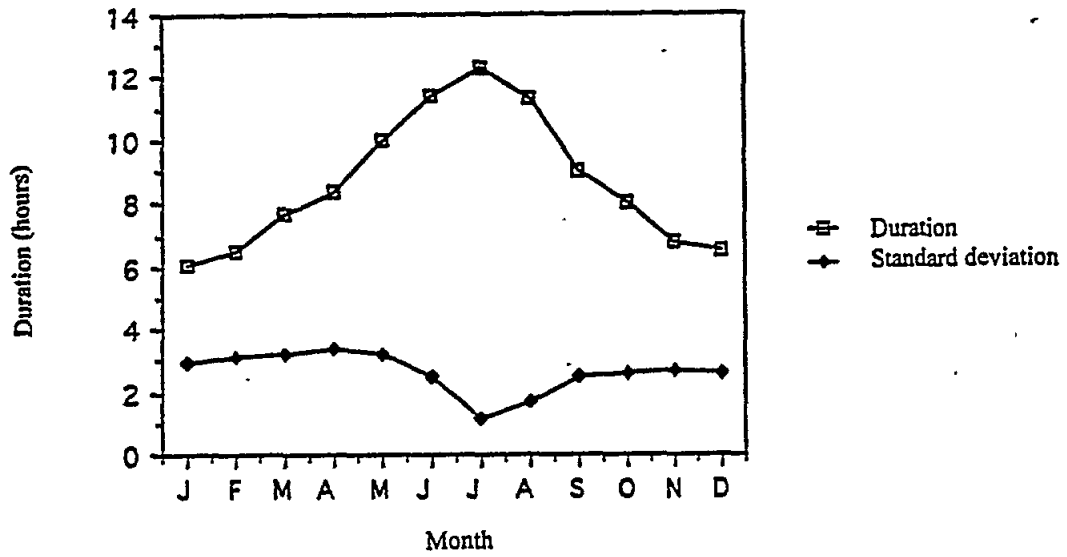


Figure 3 - Monthly insolation regime at Sfax (1971-1980)

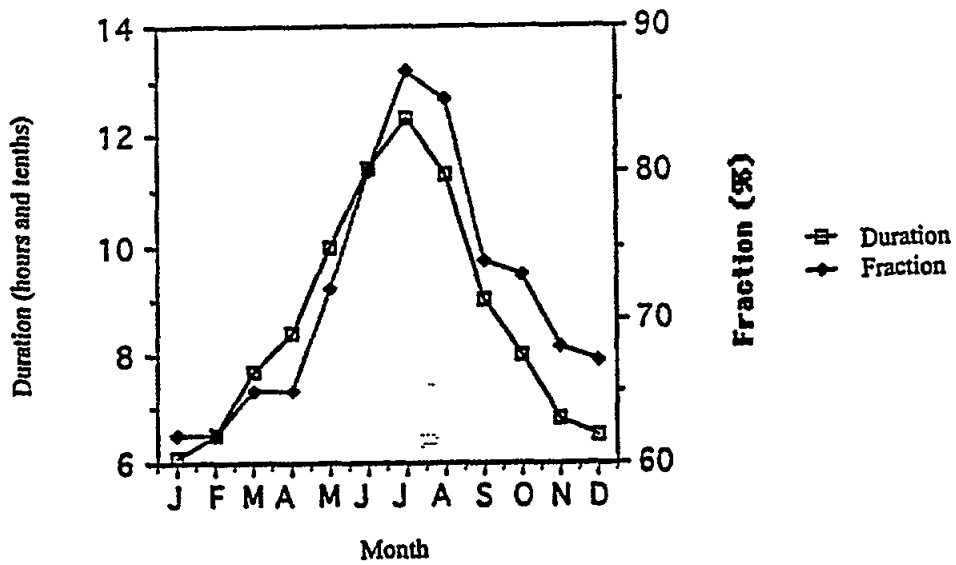


Figure 4 - Insolation at Sfax (1971-1980)

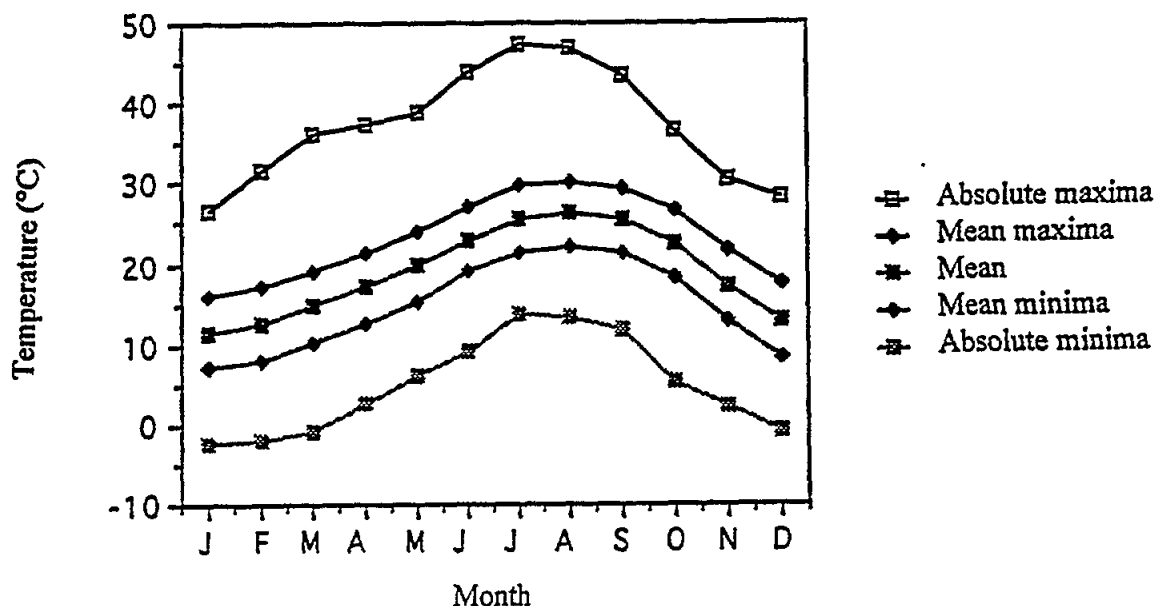


Figure 5 - Monthly temperature regime at Sfax

Frost is a rare phenomenon but is sometimes observed in March. There are from 1 to 2.5 days of frost per year (based on 1951-1960 records), usually in January and February. They generally arise from a radiative cooling. Thus, 36% of the frosts occur under a clear sky, but nearly 80% occur under a cloud cover of less than 2 octas.

In strong contrast to the winter, the summer is especially characterized by heat waves. The moderating effect of the sea only ensures a freshening relative to the hinterland. The mean summer temperature is therefore up to 24.9°C ($\pm 0.10^\circ\text{C}$). During the day, the temperature generally rises to 29.0°C ($\pm 0.16^\circ\text{C}$). The diurnal warming of the air becomes clearly perceptible from May onwards (24.2°C ($\pm 0.17^\circ\text{C}$)) reaching a maximum in August at 30.4°C ($\pm 0.18^\circ\text{C}$) on average. The summer heat persists till September (29.4 $\pm 0.13^\circ\text{C}$).

At night, it remains warm, in spite of the fact that breaks in cloud cover favour radiation losses in the infra-red. In summer, the average minimum temperature exceeds 20°C; that is, 20.9°C ($\pm 0.12^\circ\text{C}$).

This season is moreover characterized by heat waves of very irregular occurrence. Sometimes very strong advection from the Sahara occurs with the "chehili" (sirocco), a very hot, dry wind which causes very heavy "dog days" that cause the mercury to exceed 40°C easily (Table 2).

Table 2. Record absolute temperatures at Sfax (for 1901-1985)

	June	July	August	September
Maximum	43.9°C	47.2°C	46.8°C	43.5°C
Year of occurrence	1966	1960	1960	1983

On the scale of the Sfax region as a whole (Figure 6), noticeable between-month temperature variations are recorded. It is observed that the differences between the coastal domain and the hinterland occur during the hottest months as a result of the cooling role of sea breezes which are frequent in summer and which blow the most when the daily temperature range is at a maximum.

The specific thermal characteristic of the Sfax coastal area is revealed also by the values of the average nocturnal temperatures. Figure 7 shows the mildness of the nights. The average nocturnal minima are often above 10°C, especially between April and November. The seasonal temperature contrasts between the coastal area and the hinterland are greatest during the three months of autumn, when the surface water temperature has its highest values. In the extreme seasons, winter and summer, by contrast, the differences between Sfax and its hinterland are small, and hardly ever exceed 2°C.

The closeness to the shoreline plays a big role in modifying the temperature range. This range is generally quite small. The average daily range never reaches 10°C; it varies about 8°-9°C and changes little throughout the year.

It is important to point out that, at Sfax, the annual temperature range is noticeably greater than the average daily range, which means that, in this study area, the seasonal temperature contrasts (between summer and winter) are more strongly felt than those between the day and the night. This also means that the Sfax climate is basically an extra-tropical climate.

2.1.3. Atmospheric humidity

The Sfax coastal area receives very little rainfall; the average annual amount was 216.8mm (1901-1990), although subject to considerable variations.

2.1.3.1. Average rainfall regimes

The average monthly regime at Sfax is complex (Figure 8). Rains occur quite suddenly in September (24.0mm, on average) and reach their main maximum in October, with an average of 42.4mm, accounting for 1/5 (19.6%) of the annual mean amount. After a substantial drop in December (21.0mm, on average), secondary maxima occur in January (24.2mm, on average) and in March (23.7mm, on average). From April onwards, the rainfall decreases, reaching its main minimum in July.

On a seasonal scale (Figure 9), the seasonal maximum occurs in autumn (92.7mm, on average), accounting for 42.7% of the total average annual rainfall. In winter, the rainfall decreases considerably, the recorded amounts not exceeding 62.9mm on average, only just exceeding the spring rainfall which amounts to 52.2% on average. It should be pointed out that the present seasonal average rainfall regime is undergoing a noticeable change. Up to the 1950s, the spring represented the second most rainy season of the year, but it now occupies the third position, after the winter in which there is now more rainfall.

2.1.3.2. Days and intensity of rainfall at Sfax

The number of days of rainfall per year is very low, about 41 on average, of which a third occur in autumn.

Generally speaking, the daily rainfall is light. Figure 10 shows clearly that in no less than 70% of the cases, daily rainfall does not exceed 10mm. Fine rain is typical of June (97.3%) and July (100%) and of January (92.6%) and February (92.2%) On the other hand, the autumn rains are more intense, especially in October, in which 7.2% of the days produce torrential rains; that is, up to or even in excess of 30mm. Torrential rains are observed in the Sfax region even from the end of August and are associated with the start of the rainy season and the occurrence of the thunderstorms that are associated with this start. Torrential rains are also important in September. Such strong intensity of rainfall may also be observed in spring, especially in March and April (INM, 1983).

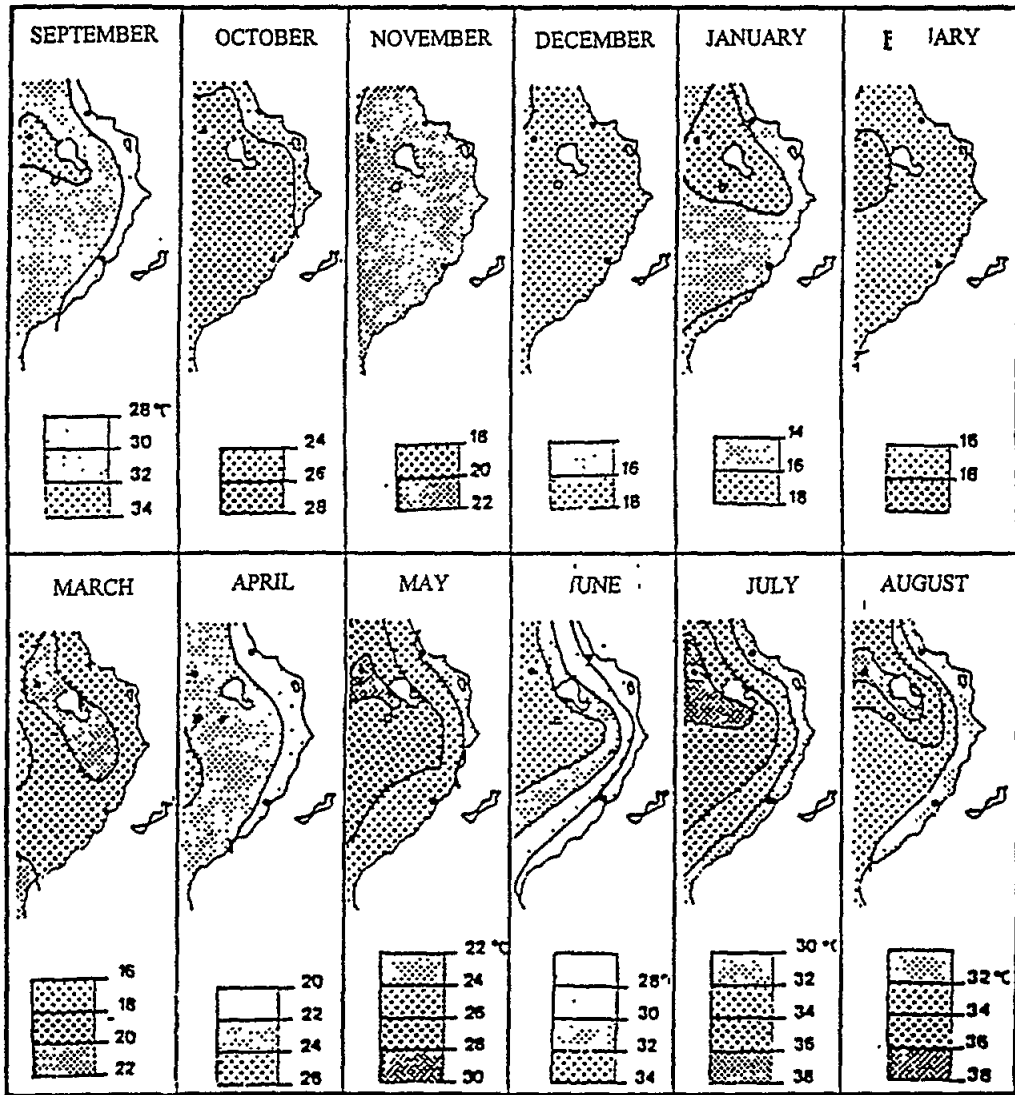


Figure 6 - Between-month variations of the average daily maxima

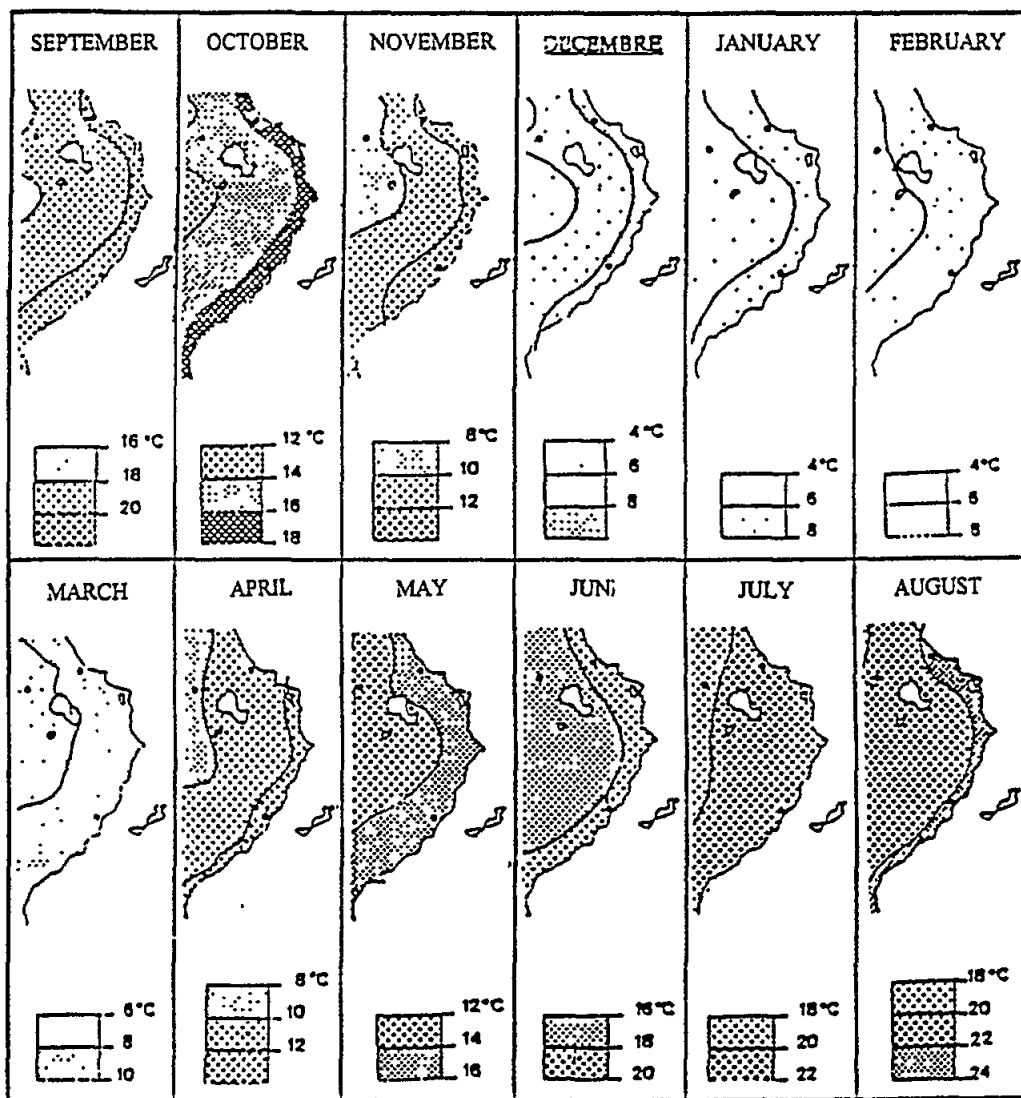


Figure 7 - Between-month variations in the average nocturnal minima

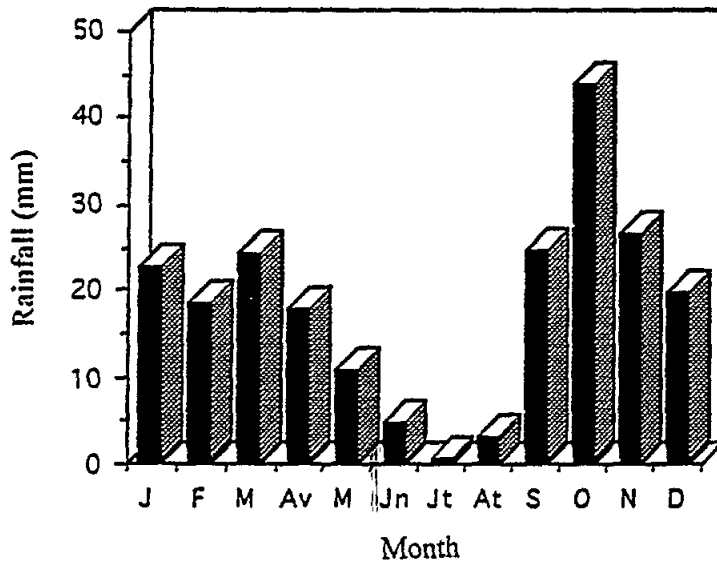


Figure 8 - Average rainfall (by month) at Sfax (1901-90)

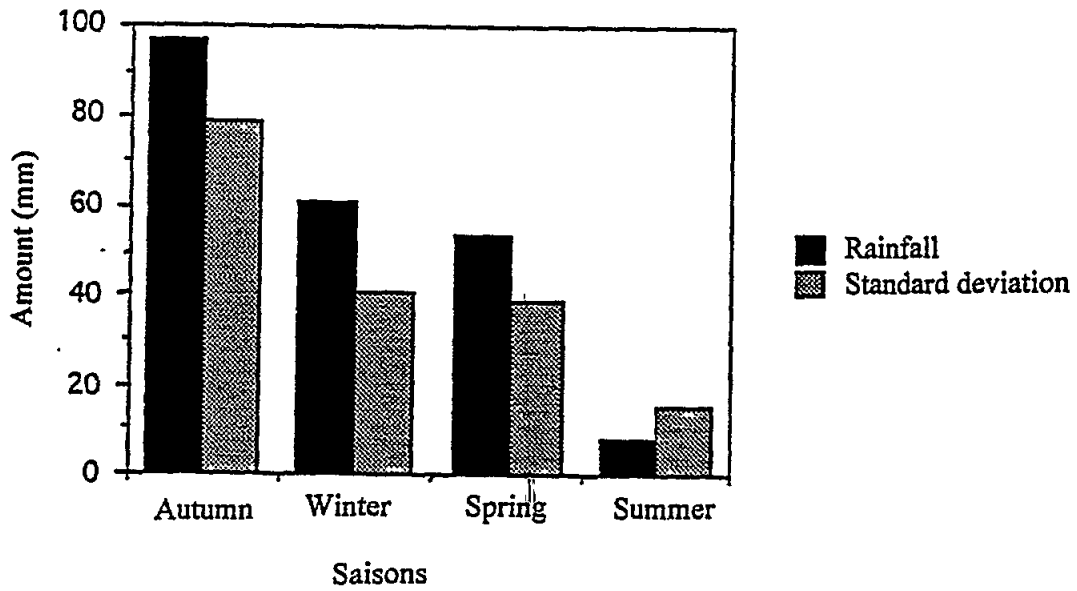


Figure 9 - Seasonal rainfall at Sfax (1901-90)

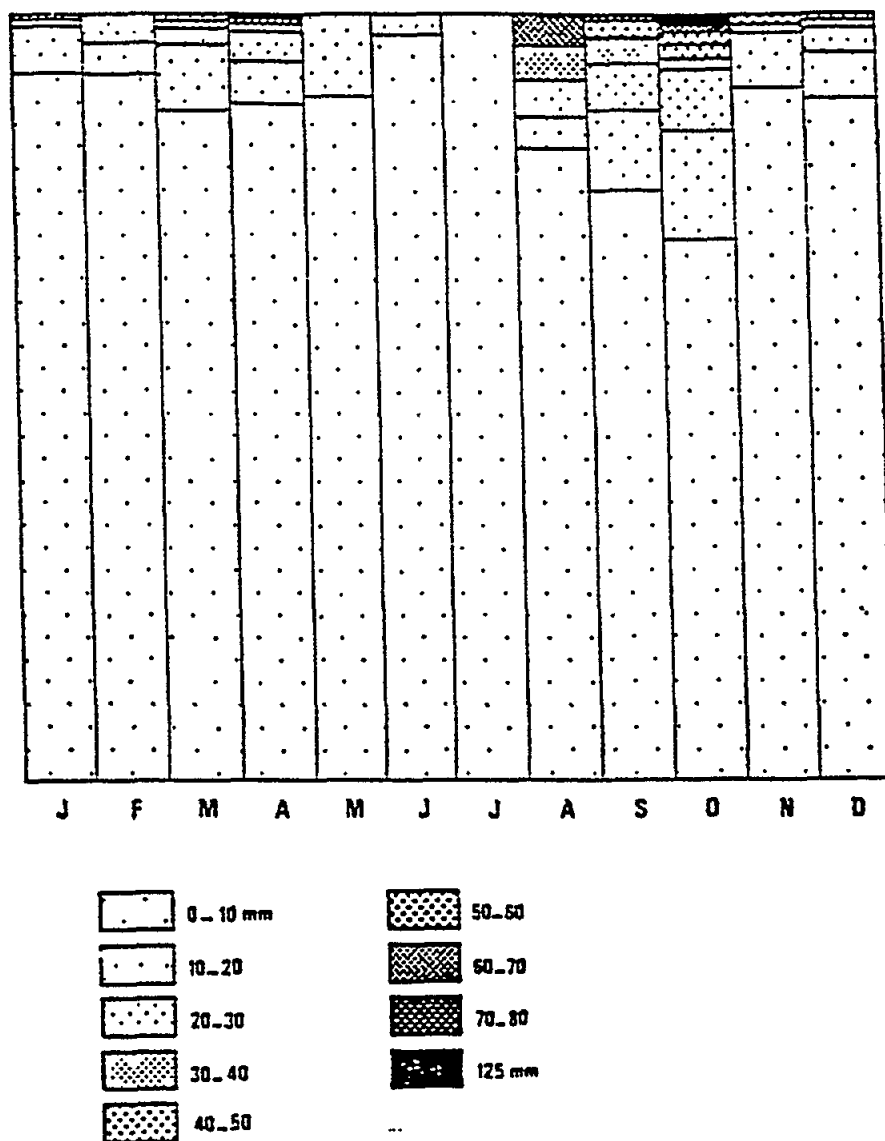


Figure 10 - Rainfall frequency at Sfax (1951-70)
 % of days when the rain is between 9 and 10 mm, 10-20 mm, etc.
 (Source, I.N.M.)

2.1.3.3. Rainfall variability

Variability is an underlying characteristic of the Sfax region. The coefficient of variation reaches 45% in respect of annual rainfall and increases as one considers the seasonal and monthly amounts. In general, the variability is inversely proportional to the average amount: it increases as the amount of rainfall decreases (Figure 11).

Table 3 shows the irregular nature of the rainfall at Sfax, on three scales: monthly, seasonal and annual.

Table 3. Rainfall anomalies at Sfax (1901-1990)

	Maximum observed	Year of occurrence	(1)	Minimum observed	Year of occurrence (2)	(1)
January	191.2	1990	5.8	0	1937-1984	-0.8
February	123.7	1975	5.3	0	1912-1990	-0.9
March	127.1	1917	4.1	0	1905-1946	-0.9
April	118.3	1957	4.2	0	1902-1983	-0.7
May	55.0	1922	3.3	0	1903-1946	-0.8
June	58.5	1976	4.4	0	1901-1985	-0.4
July	17.0	1935	6.0	0	1901-1990	-0.3
August	90.0	1955	7.7	0	1901-1987	-0.3
September	120.0	1937	3.6	0	1913-1964	-0.9
October	462.6	1969	6.9	0	1910-1970	-0.7
November	148.1	1922	3.9	0	1910-1963	-0.8
December	152.1	1973	5.3	0	1901-1961	-0.9
Autumn	587.5	1969	6.4	0.5	1946	-1.2
Winter	250.8	1990	4.3	4.2	1902	-1.3
Spring	169.6	1957	3.1	2.7	1970	-1.3
Summer	92.4	1955	5.4	0.0	1901-1985	-0.6
Annual	605.4	1969-70	3.9	37.0	1946-47	-1.8

(1) Relative importance of the recorded maximum: standardized values

(2) In case the minimum characterizes several years, only the first and the last are indicated

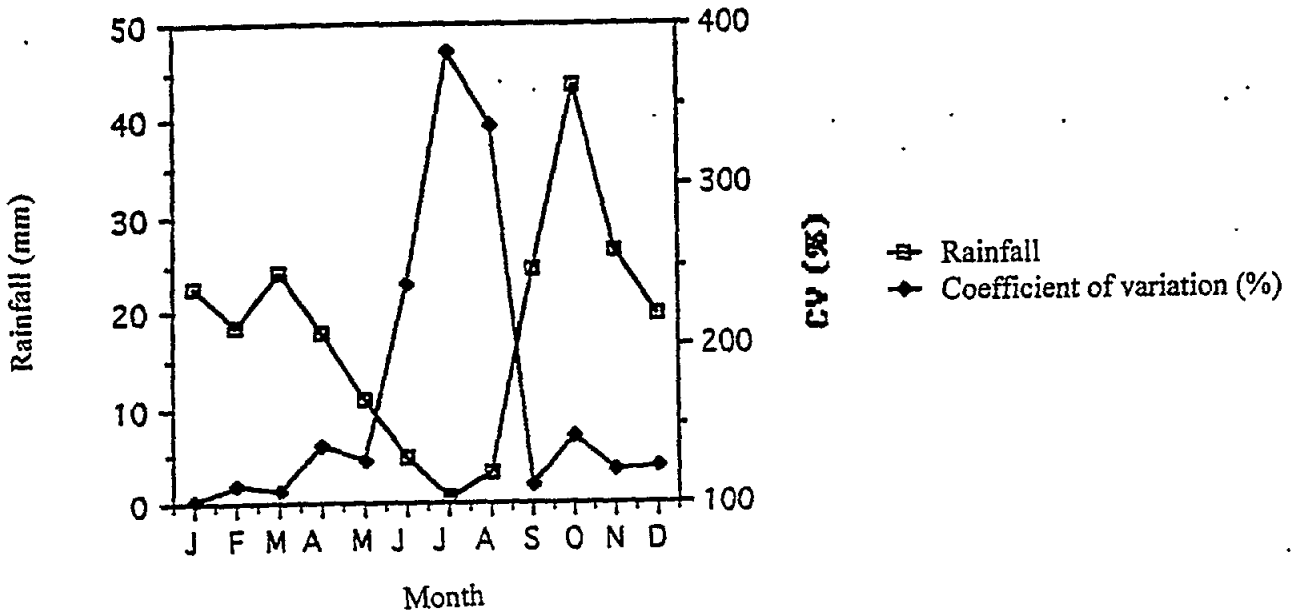


Figure 11 - Variability of monthly rainfall at Sfax

2.1.3.4. Rainfall mechanisms

The nature of the rainfall in the Sfax region is, in fact, closely related to the rainfall's origin. The rainfall generation here is intimately connected to the dynamics of the polar front. Throughout the year, the Sfax coastal area is concerned, overall, by two types of weather: dry and wet (or with very little rainfall).

Table 4. Origin of annual rainfall at Sfax

Weather types	Contribution (%) to annual rainfall
North-east (direct flux)	51
North-east associated with a "cold spot" at altitude	21
West	3
North-west	1
South-west	6
Saharan perturbation	18
Total	100 %

Table 4 shows that the rainfall at Sfax are produced essentially by three types of weather that together correspond to 90% of the annual total. These are essentially the north-east weather types, with direct flux or associated with a "cold spot" at altitude, and the Saharan perturbations. These weather types are, nevertheless, relatively infrequent, being observed in only 28% of cases. Their relative importance differs noticeably from one season to another (Table 5).

Table 5. Percentage contribution of weather types to seasonal rainfall at Sfax

Weather type	Autumn	Winter	Spring	Summer
North-east	63	69	29	79
"Cold spot"	29	11	33	1
West	1	3	2	19
North-west	—	2	2	1
South-west	5	8	8	—
Saharan perturbation	2	7	26	—
Total				100 %

Rainy weather types

The north-east (direct flux) weather type is the source of the greatest proportion of the rain falling on the Sfax region and this is true for all the seasons, and for autumn and winter in particular (Table 6).

Table 6. Rainfall contribution from the north-east weather type at Sfax

Month	Rainfall contribution (%) of the north-east weather type
September	79
October	88
December	60
January	90
February	46
March	57
May	15
June	87

The NE weather type is the main source of torrential rains and thunderstorms. The polar air masses become unstable at their base after crossing the eastern Mediterranean and particularly over the hot water of the Gulf of Gabès and the associated depression (Table 6).

Nevertheless, the NE (direct flux) weather type is not the only determinant of the rainfall patterns of the Sfax coastal area. Certain area-wide processes associate a "cold spot" with it at altitude (at the 500 hectopascal surface). The most active "cold spots" are observed in autumn and in spring; that is, during the intermediate seasons when the zonal circulation shows signs of weakening.

The contribution of the Saharan perturbations to seasonal rainfall are typical of spring, contributing about a quarter of the spring rainfall. They cause generally fine rain in the Sfax coastal area, the daily intensity not exceeding 15mm.

Dry or low-rainfall weather types

The most frequently occurring weather types at Sfax (72% of cases) are the NW, W and SW, the flat low (barometric-pressure zone) and the anticyclonic weather type. These are low-rainfall weather types, contributing only about 10% of the annual total. The NW type can be cited as a typical example; it is a particularly weak type which produces the bulk of the rainfall in northern Tunisia, but far less at Sfax because of the foehn effect. The NW weather type generally produces daily rainfall of very low intensity; this intensity does not exceed 5mm at Gabès and not more than 0.7mm at Sfax.

2.1.4. Hydrometeorological phenomena at Sfax

Fogs are fairly frequent; on the average there are 10 foggy days per year (1951-1972). For 1946-1960, the number was noticeably lower, at 6.9 days (INM).

Although hail is infrequent, it is much feared in the Sfax region, as elsewhere in Tunisia. The average occurrence is 0.68 days per year, mainly in autumn and spring which account for 46.7% of the annual total. The scanty data show that hailstone diameter is often less than 20mm. The record size was observed on 13 May 1957 when hailstones with a diameter of 105mm were observed during a violent thunderstorm. The maximum observed duration of a hailstorm was 69 minutes on 9 May 1951. Hailstorms are particularly likely to occur in the second half of the day, which is the hottest part; nearly 69% of hailstorms are observed between 1200hr and 1800hr (Saïdi, 1976). The average number of days per year on which thunderstorms occur is 22.2. Thunderstorms are most common in the autumn, and especially October.

2.1.5. Surface winds at Sfax

Owing to its position between sea and land, Sfax is a relatively windy region, the average frequency of calm periods varying between 4 and 5% of the observations.

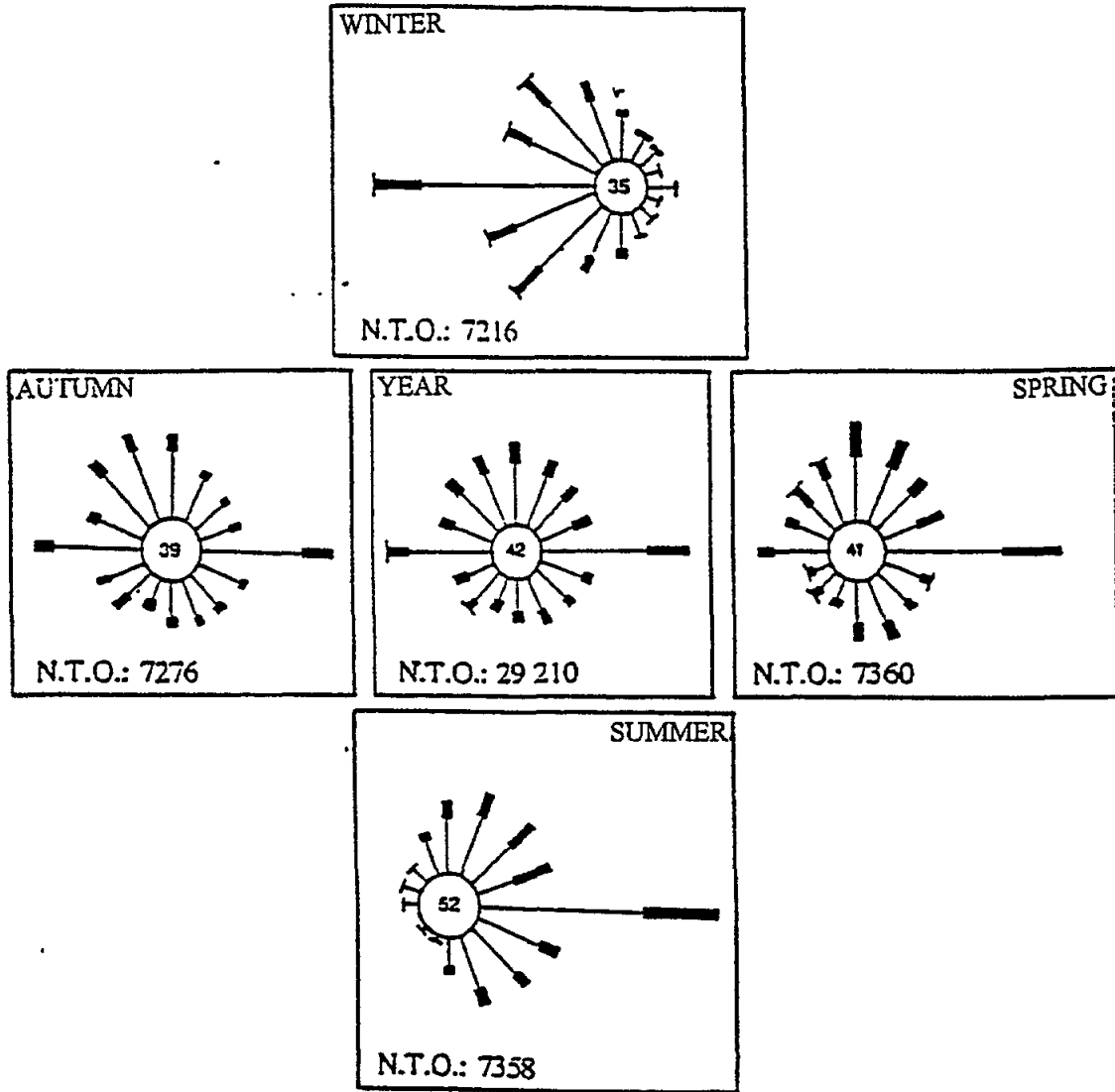
On an annual scale, for the period 1970-1979, the wind blows from practically all directions, and this is true in terms of frequency and of speeds. The N, NW and NE winds are, however, measurably more frequent and stronger than the SW, S and SE winds (Figure 12).

The predominant winds are from the East and from the West, although still weak, with a speed often less than 4m/s. The annual average frequencies do hide many seasonal features. Although, in autumn, the observed winds retain the characteristics that are typical throughout the year, the other seasons all show specific features. In winter, the W, NW and SW winds predominate over the others, particularly relative to the east winds. Winter in Sfax is also marked by considerable turbulence; the frequency of calm periods is at its lowest level (3.5%).

In spring, there is a noticeable change in wind frequency; the W, NW and SW winds become quickly less important than those from the East, the North and the North-east.

This strengthening of the easterly wind component is confirmed in summer when the E, NE and SE winds predominate. This reflects the importance of sea breezes in a summer season strongly marked by anticyclonic calm periods.

Overall, Sfax often experiences windy weather, the predominant winds blowing mainly from the East, but their speed rarely exceeds 9m/s.



GROUND-LEVEL WIND

Mean frequency per thousand
wind directions, by speed levels in m/s

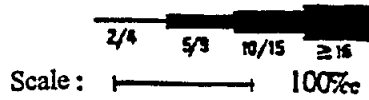


Figure 12 - Wind roses for the Sfax region (1970-1979)

H.O.: 00. 03. 06. 09. 12. 15. 18. 21

N.T.O.: Total number of observations

41: Frequency of calm wind: 41‰

(Source: I.N.M. Tunis)

2.1.6. Piche evaporation

Apart from the rarity of rainfall, the high evaporation in the Sfax region accentuates the dryness. This evaporation operates throughout the year, even in winter where the minimum is 512mm; maximum evaporation occurs in summer with a value of 1720mm (Table 7).

Table 7. Piche evaporation (in mm) at Sfax (El Maou station, 1986-1993)

Season	Autumn	Winter	Spring	Summer
Piche evaporation	972mm	512mm	1026mm	1720mm

2.1.7. Secular climate trends along the Sfax coast

2.1.7.1. Introduction: data quality

The study of climate change is relatively recent in Tunisia. Some studies on rainfall have been carried out (Bousnina, 1977, 1986; Melice, 1984; Jequirim, 1992), as well as some on temperature (Bousnina, 1988, 1992). These various studies have provided numerous results relating to specific regions as well as to Tunisia as a whole.

Certain studies have particularly stressed the quality of the climate data used in the study of trends. In this respect, it should be noted that the Tunisian meteorological data provided by the Institut national de la météorologie (National Meteorological Institute) of Tunis are far from having been subject to rigorous quality control and therefore do not ensure a satisfactory level of reliability for secular climate trend studies.

Before any suitable research on climate changes in Tunisia can be undertaken, it is essential to undertake data-quality control; the results depend largely on this being done. The application of several data-quality-control techniques (statistical and graphical) has revealed a number of important errors of diverse origins.

Rigorous quality control has therefore been applied to the data base (temperature and rainfall) and has identified the errors (numbers and categories; Figure 13).

The most frequent errors (80.4% of cases) can be attributed to "human" failure. Very often, the monthly temperature records are not always from the same station in Sfax. During data logging, data from other stations have been entered in place of those from Sfax, and this, during fifteen consecutive years (type "G" errors).

Also, an examination of original meteorological records allowed the elimination of 210 "official" values, inasmuch as the monthly temperature means had been calculated from an insufficient number of daily observations (type "A" errors).

The temperature data include, moreover, several errors of calculation (type "F" errors). Rectification showed that the deviations recorded between the erroneous values and the corresponding correct values were often between 3° and 5°C (see Annex III).

Thus, the identification of various types of error constituted an important stage in ensuring a better quality of the data used. Elementary but essential corrections were made, and may be summarized as follows:

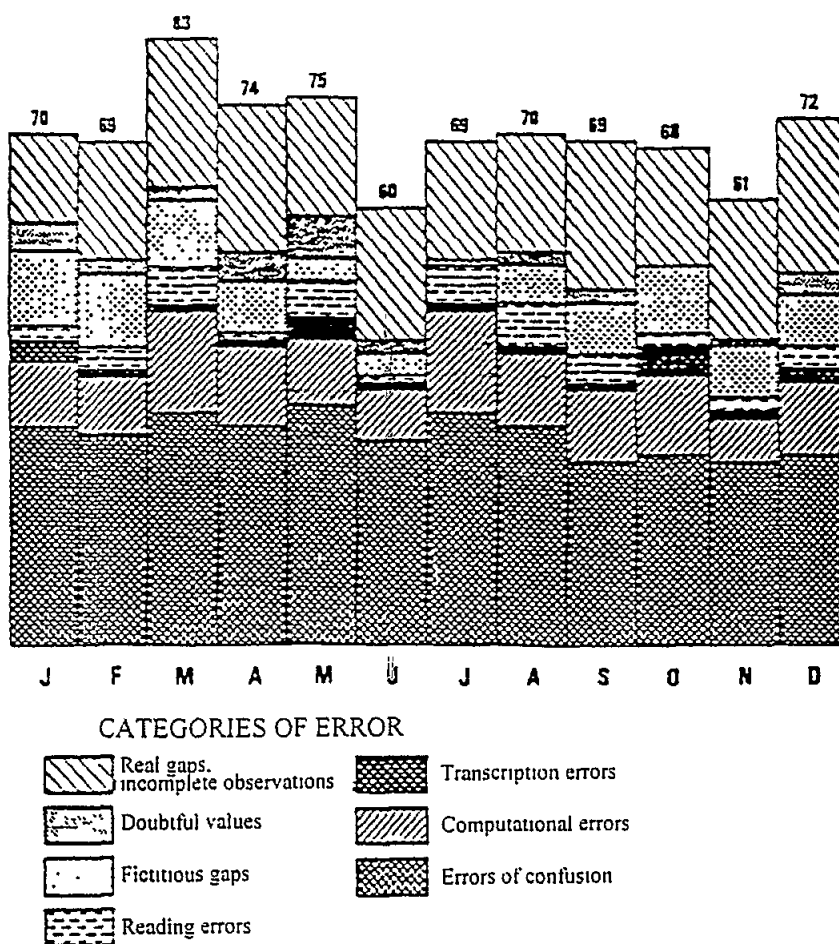


Figure 13 - Sfax temperature data:
Error categories, by month

- (N.B.: - The number on the top of each column indicates the total of errors
- Each column represents 100%)

- rectification of recording errors
- correction of errors of calculation and transcription
- replacement of data in their proper place, in space (station) and time (month and/or year).

The homogeneity of climate data is an important aspect of temperature variability studies; this is also true for the other climatic factors. Given the time scale adopted, covering the period 1901-1985, it was not possible to ensure perfectly homogeneous time-series for the study area. An historical study of the stations, based on original documents available, revealed the sources of heterogeneity. These are attributable principally to changes in station siting. It was often noted that a site change often followed a long gap in the time-series of data. For this reason, many monthly time-series are split into two separate series with appreciably different statistical characteristics. The heterogeneity of the series was revealed by comparison of the parameters relating to the two sub-series of the time-series. Important differences were sometimes found.

The statistical significance of these differences was verified by the Student test. In summary, the Sfax station has occupied two different sites: one "urban", between 1900 and 1947; the other a "rural" site on the south-west edge of the town, at the airport.

The differences between the two sites in respect of observed temperature are given in Annex III. They relate essentially to the average minimum temperatures, which are greater in town than elsewhere. Taking these differences into account, and to ensure a complete and homogeneous temperature time-series, the merging of the monthly time-series for the daily average maxima and minima was undertaken.

2.1.7.2. Recent climatic changes at Sfax

Insolation

The determination of insolation indexes for two different periods - 1951-1973 and 1971-1980 - showed notable differences (Figure 14).

It may be noted that the insolation index tends to decrease in January and February, May and November, and, to a lesser degree, in April. A tendency to increase characterizes the other months of the year, especially June, September, October and December.

Temperature

The analysis of temperature trends in the 20th century has been conducted on two levels: by area and by station.

By area, the long-term temperature trends have been considered with respect to the average daily maxima, on the one hand, and the average nocturnal minima, on the other.

For the average daytime temperature, Figure 15 permits the following remarks:

- For the period 1901-1985, the average daily maxima for the Sfax region have decreased steadily. It is less hot during the day now than at the beginning of the century. The lowering of the daily maximum temperature is characteristic of all the hot months of the year, from March to November, inclusive.
- The tendency for maximum daily temperatures to decrease is statistically highly significant.

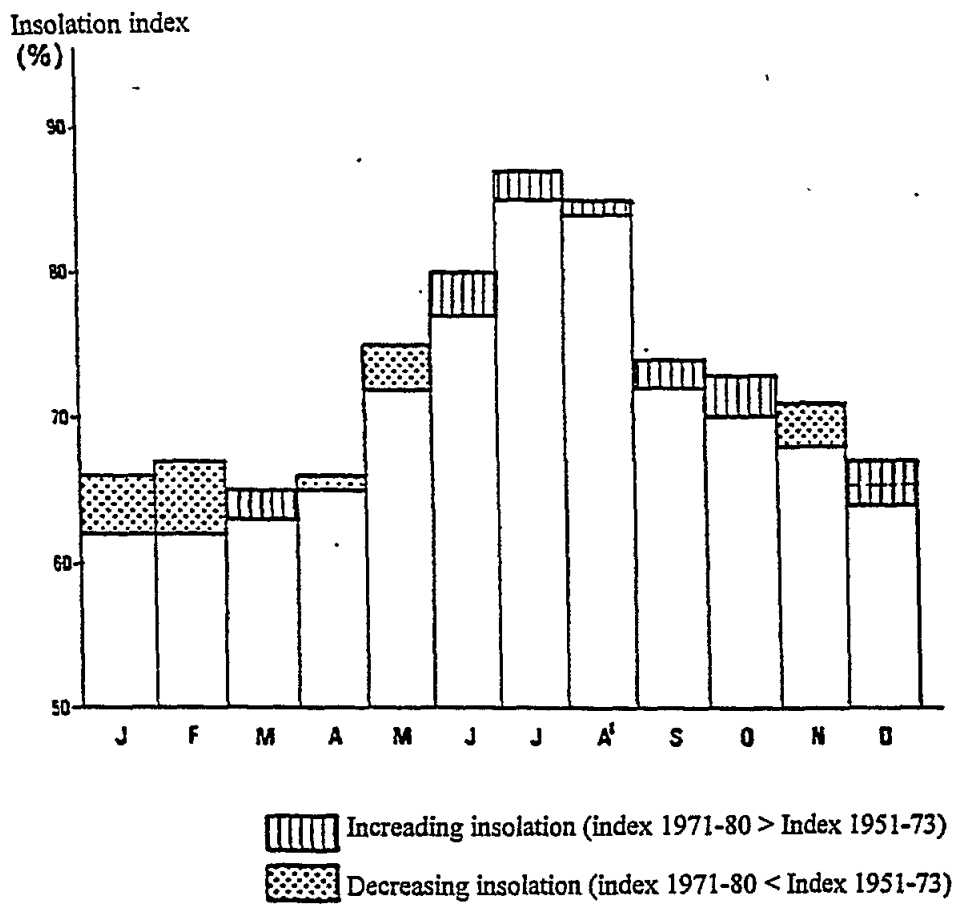


Figure 14 - Differences in insolation at Sfax

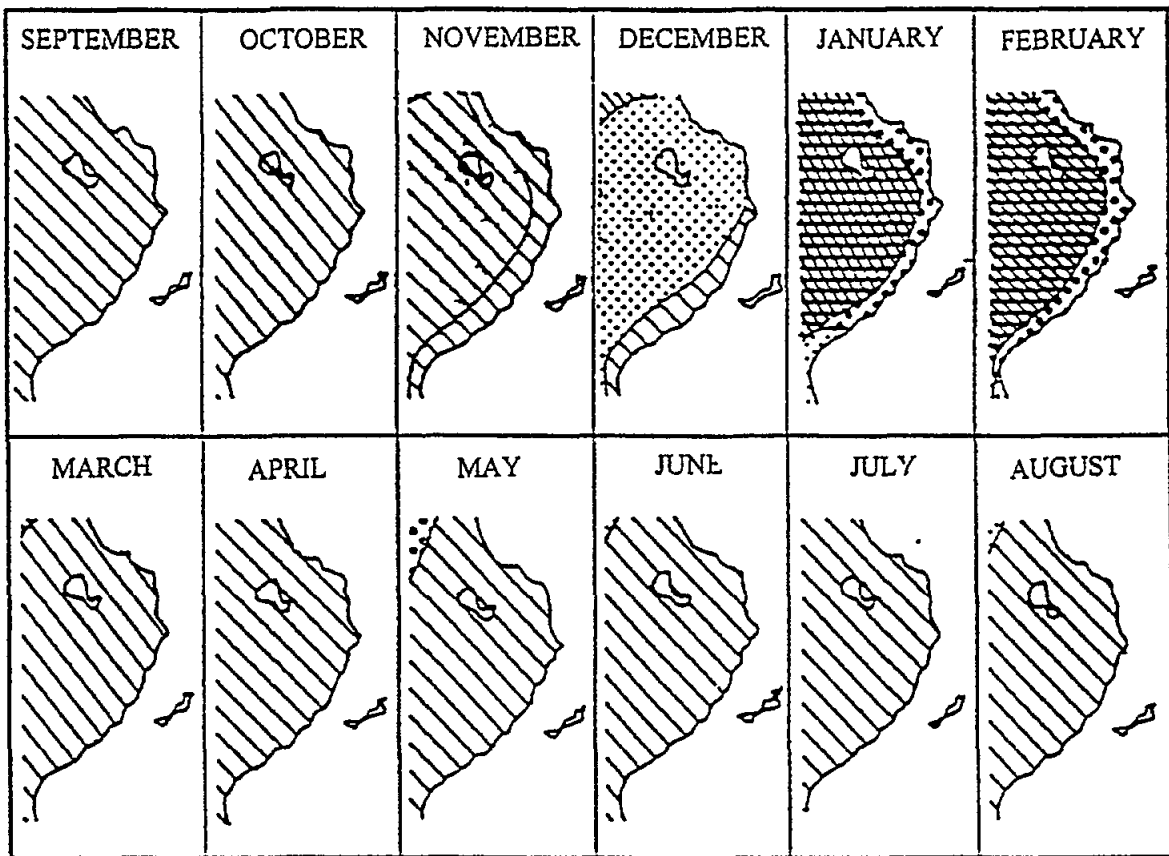


Figure 15 - Long-term trends in the mean daily maxima

- In winter, the long-term trends in the average maxima are less obvious. Overall, the Sfax region has undergone a remarkable lowering of daytime temperatures in January and February. The diminution of the average daily maxima is, however, more obvious (and more significant) over the inland plains than along the coast where the general trend is barely significant. In December, the maximum temperature shows a generally downward trend, especially along the Sfax coast.

Regarding the average nocturnal temperature, the application of the same analytical procedure gave the following results (Figure 16):

- Overall, the minimum night temperature show a generally increasing trend, particularly in January and February in which the lowering of nocturnal temperature is highly significant.
- The long-term trends are characterized by a weak spatial coherence inasmuch as, month-to-month, the Sfax region shows different tendencies, with respect to statistical significance and to regional extent.
- It is important, moreover, to point out the general trends specific to the coastal area, on the one hand, and to the inland plains, on the other. The coastal area has increasingly lower minimum nocturnal temperature in the autumn (especially in October-November) and in March, May, June and July; in July the nocturnal cooling is highly significant. In contrast, the inland plains show an often significant increase in the average nocturnal minima, except in September and November when nocturnal cooling remains more nearly normal.

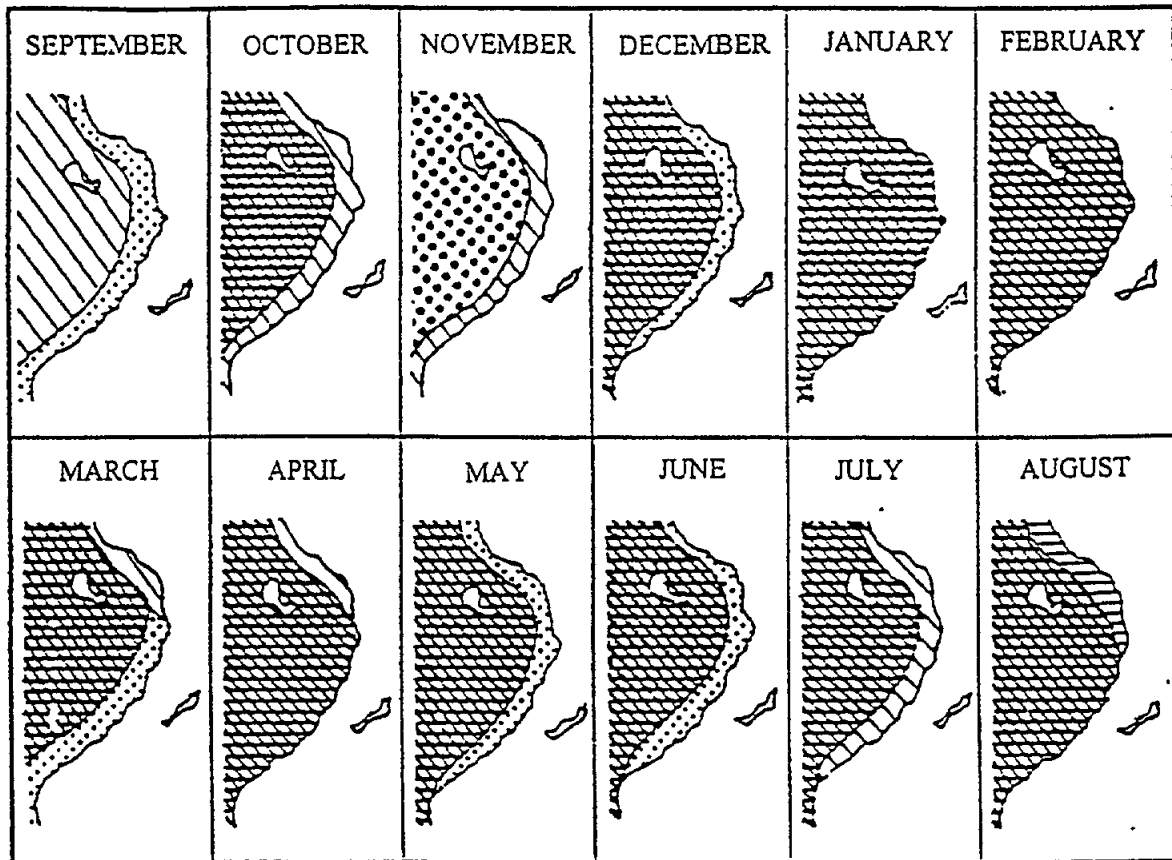
Figures 17 and 18 show some long-term trends in average daily maxima and minima for the Gulf of Gabès region. The temperature values for this region are based on the average maximum and/or minimum temperature observed at 4 stations on the Gulf of Gabès; that is, Sfax, Gabès, Jerba and Zarzis.

For the synoptic station at Sfax, the analysis of long-term trends in the mean monthly temperatures has been carried out for three time scales: annual, seasonal and monthly (Table 8)




Table 8. Trends in average monthly temperatures at Sfax (1900-85)

	\hat{a}	$\hat{a} / \sigma_{\hat{a}}$	Percentage risk error
January	+0.013	2.665	0.92
February	+0.012	2.058	4.27
March	+0.014	2.606	1.08
April	+0.010	2.523	1.35
May	+0.001	0.368	ns
June	-0.008	-1.680	9.64
July	-0.002	-0.375	ns
August	+0.001	0.192	ns
September	+0.005	1.440	ns
October	+0.022	4.525	0.01
November	+0.022	4.312	0.01
December	+0.013	2.790	0.65
Autumn	+0.017	5.121	0.01
Winter	+0.013	3.896	0.02
Spring	+0.009	2.621	1.04
Summer	-0.003	-0.769	ns
Year	+0.009	3.762	0.03

ns = trend not statistically significant



INCREASE ($\bar{a} > 0$)

-  Significant positive trend
-  Non-significant positive trend
-  Generally indeterminate trend (variation near-stationary)

DECREASE ($\bar{a} < 0$)



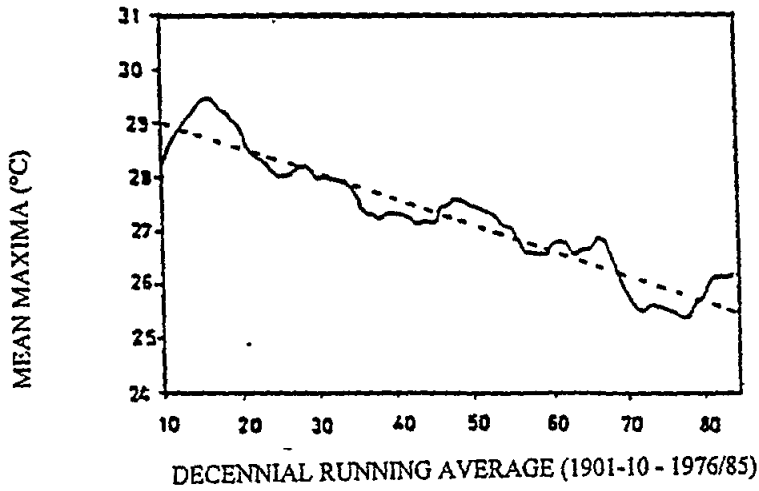
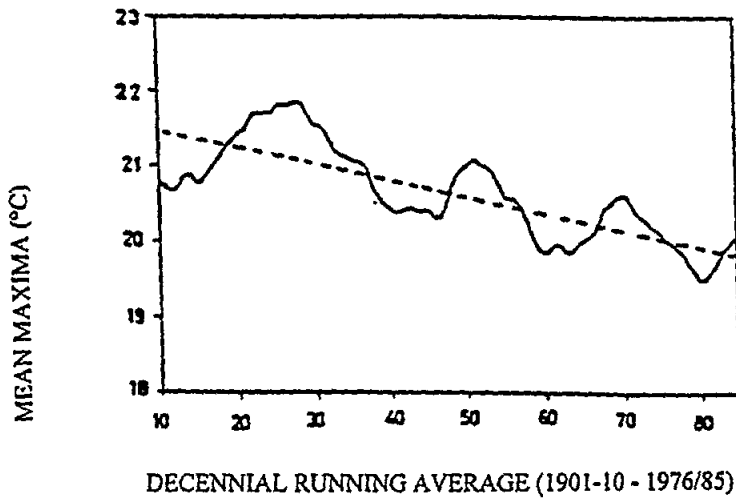
-  Significant negative trend
-  Non-significant negative trend

Figure 16 - Long-term trends in the mean nocturnal minima

GULF OF GABES: OCTOBER



LITTORAL ZONE: APRIL



GULF OF GABES: JULY

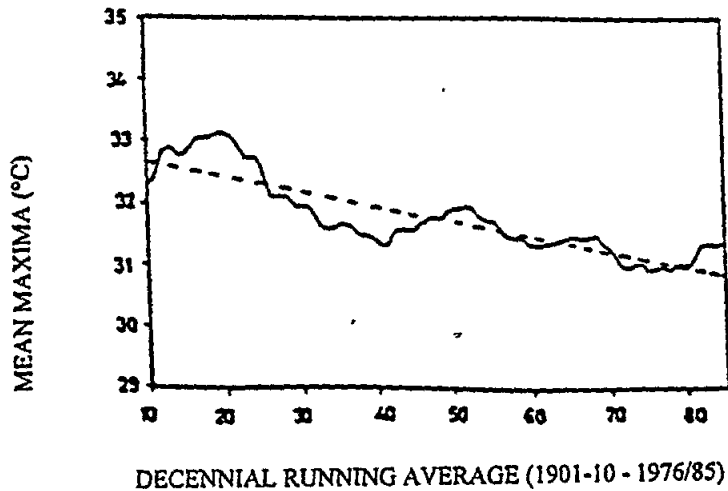


Figure 17 - Trends in average daily maxima

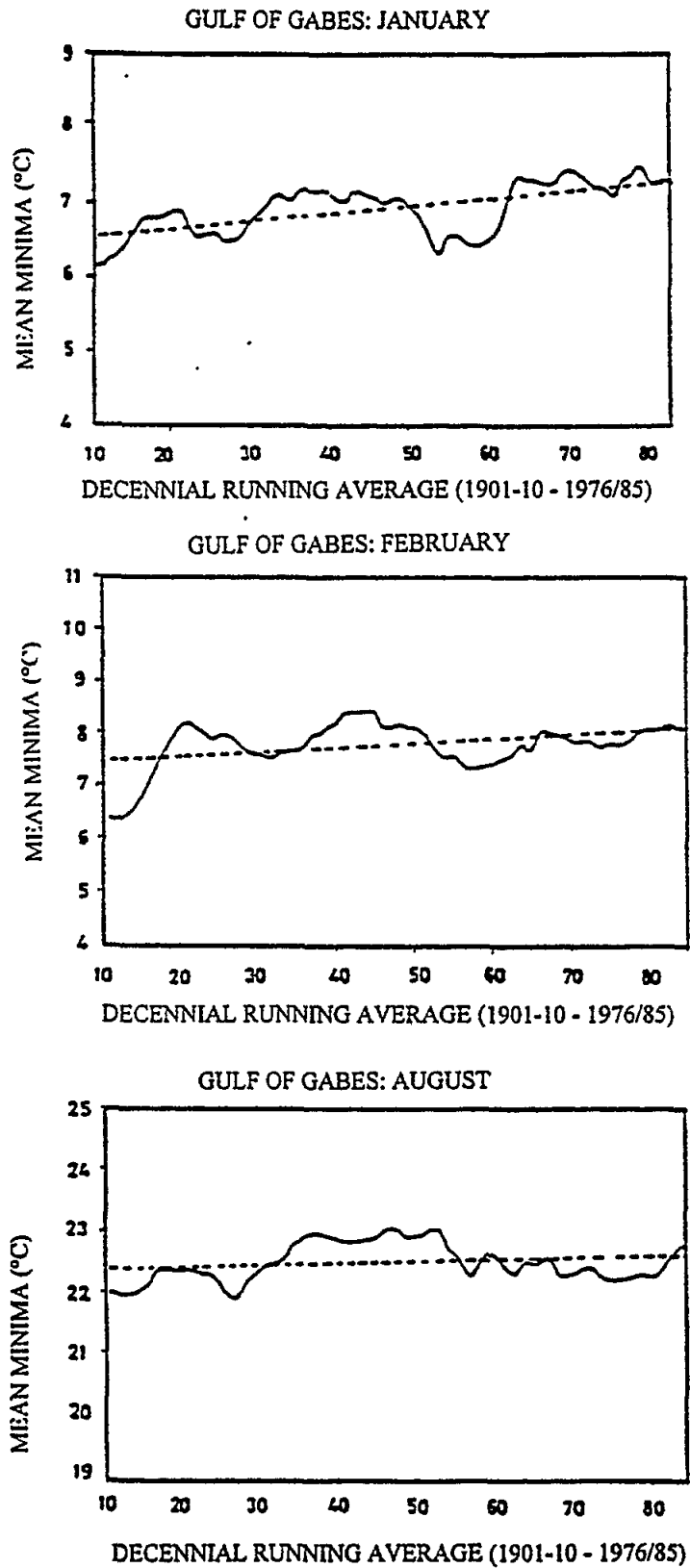


Figure 18 - Trends in average nocturnal minima

The results of the statistical treatment are given in Table 9.

Table 9. Correction coefficients applied to mean daily temperatures for Sfax-el-Maou (1948-1985)

Month	Maximum daily means	Minimum nocturnal means
September	-0.24	+1.11
October	0.71	+1.69
November	0.20	+1.77
December	-0.02	+1.06
January	-0.41	+1.10
February	-0.55	+1.09
March	-0.27	+1.36
April	-0.04	+1.14
May	-0.73	+0.79
June	-1.36	+0.75
July	-1.49	+1.20
August	-1.24	+0.97

N.B. The values in boldface represent the statistically significant deviations at the 0.05 level

The following conclusions can be drawn from this Table:

- At Sfax, the annual mean temperature has increased steadily throughout the 20th century, at the rate of +0.009°C per year. The average warming trend seems weak but it is highly significant ($p < 0.01$).
- The annual warming arises from an even stronger increase in the mean seasonal (and monthly) temperatures, for which the trends are often highly statistically significant.
- The increase in mean temperature is most marked in, by decreasing order of importance, autumn, winter and spring, during which the warming is highly statistically significant. In contrast, in summer the trend in mean temperature is negative but not statistically significant, which means that the seasons in which there is an increase in mean temperature are those in which it normally rains at Sfax. It is also interesting to note that the observed warming decreases in intensity as the seasonal rainfall decreases.
- The overall trend in mean seasonal temperatures in fact hides several tendencies at the monthly level. Generally speaking, the long-term trend in mean monthly temperature is coherent (consistent); that is, proportional to the overall trend in mean seasonal temperature (Figure 19).

Warming is thus characteristic of the cool months of the year, notably in the period October-April and without interruption, which indicates that the temperature regime at Sfax shows a remarkable tendency towards winter warming, whereas signs of summer cooling, especially in June and July, are becoming detectable, although their statistical significance has yet to be established.

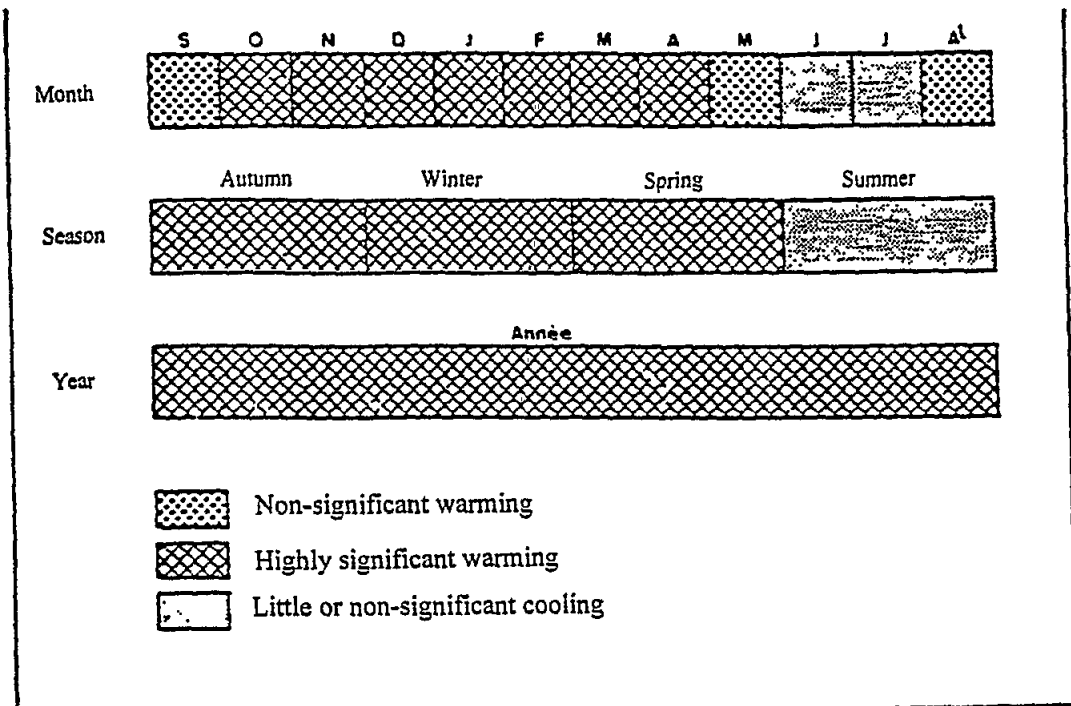


Figure 19. Overall trends in mean temperature at Sfax (1900-1985): a summary

This overall trend to warming is fully confirmed by variations in the continental climate characteristics. Thus, with respect to the annual temperature range, it was possible to calculate the Gorczycki coefficient of continentality and retrace its long-term variations. Figure 20 shows a clear-cut decline in this coefficient during the 20th century. This decreasing trend is at a rate that is slightly more rapid than that for Sousse farther to the North (Figure 21). The corresponding regression coefficient is -0.041 and is significant at $p < 0.05$. This overall decrease appears to occur in two periods separated by a third in which the trend is opposite.

Therefore, the chronological changes in the coefficient of continentality may be summarized as follows:

- Since the beginning of the century, the coefficient shows a decreasing trend. During the early decades, the coefficient (calculated as a ten-year running average) somewhat exceeded 27% (1901-1910: 27.4%; 1905-1914: 27.3%), before showing a much stronger decrease starting in the decade 1927-1936, before stabilizing in the decades 1932-1941 and 1933-1942 at a level of 21.7%, a level never before observed at Sfax during this century. It was, moreover, during this period that the coefficient reached, twice, its lowest value: 16.9%, in 1936 and 1940.
- This major phase in the decrease in the coefficient was rapidly annulled, starting in the 1935-1944 decade, during which the coefficient showed a dramatic increase, reaching its value at the beginning of the century. The "C" coefficient thus reached the value of 27.4% in the 1943-1952 decade, as for the first and second moving decades (1902-1911). Also, during the decade 1944-53, the coefficient reached the value of 27.7% which was the record set in the decade 1904-1913. To explain these changes, the change of the station from Sfax town to Sfax airport was considered, but the covariation, which was particularly high between Sfax and Sousse ($r = 0.837$) and between Sfax and Gabès ($r = 0.831$), each highly significant statistically, argues against the proposed hypothesis. This indicates that the increase in the coefficient in the decade 1944-53 was the result of a natural climate change rather than of a "gauge" change as might be thought with, for example, a change in the station site.
- After this remarkable "compensation", the coefficient underwent a second change that was no less strong than the first one, with a decrease that seems to be persisting till the present day. Thus the coefficient is decreasing overall but through a quasi-cyclical oscillation. It reached its lowest level, 22.0%, in the decade 1970-1979, just exceeding the absolute minimum annual value (21.7%) recorded in the decades 1932-1941 and 1933-1942. Like the other coastal stations, the retreat of the continental effect was most marked in the years 1974 (17.8%), 1977 (19.6%) and 1979 (18.7%). It so happens that these years also correspond to years of lower than normal rainfall.

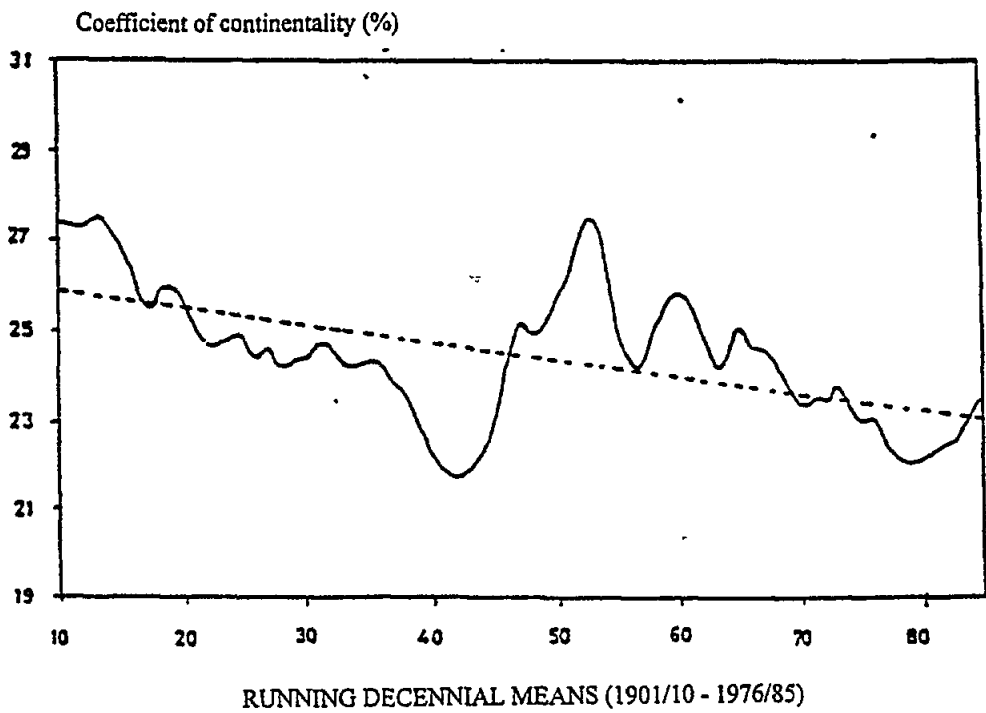


Figure 20. Variation in the Gorczycki coefficient at Sfax (1901-1985)

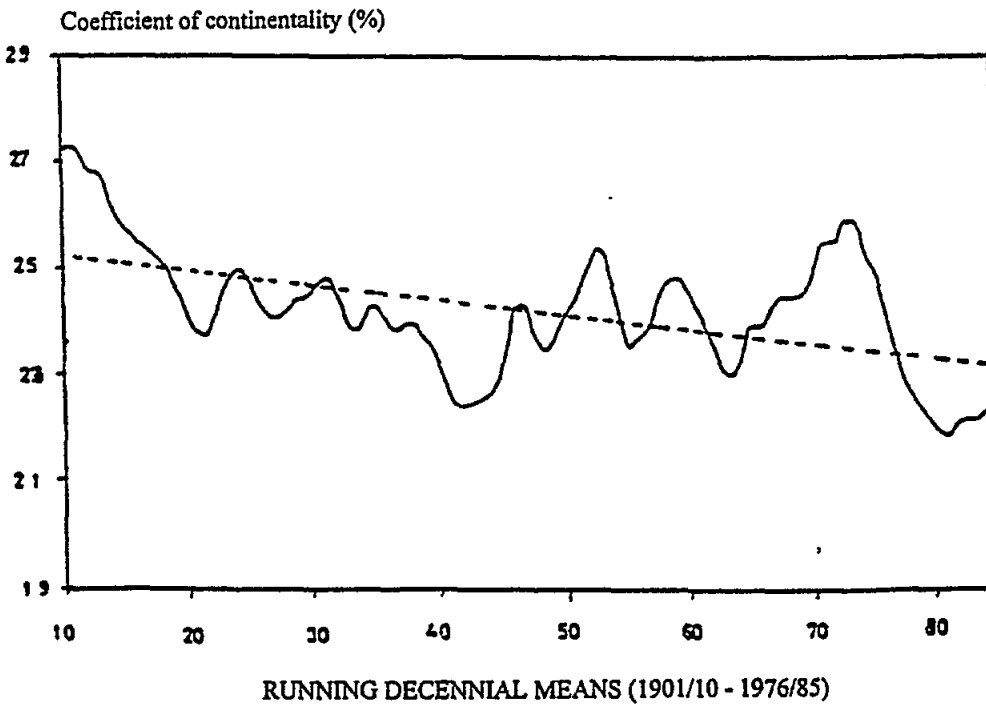


Figure 21. Variation in the Gorczycki coefficient at Sousse (1901-1985)

Rainfall

The application of the same statistical methods to rainfall data yielded somewhat inconsistent results in terms of clear-cut, significant trends (Table 10).

Table 10. Long-term trends in rainfall at Sfax (1901-90)

	\hat{a}	$\hat{a} / \sigma_{\hat{a}}$	Percentage risk error
September	+0.000	0.076	ns
October	+0.011	1.869	6.50
November	-0.003	-0.558	ns
December	+0.009	1.866	6.54
January	-0.004	-0.902	ns
February	+0.004	0.883	ns
March	+0.000	0.045	ns
April	+0.005	1.009	ns
May	-0.002	-0.418	ns
June	+0.000	0.072	ns
July	+0.006	0.568	ns
August	+0.018	1.459	ns
Autumn	+0.007	1.257	ns
Winter	+0.003	0.847	ns
Spring	+0.002	0.511	ns
Summer	+0.008	1.200	ns
Year	+0.003	1.763	8,14

ns = overall trend not statistically significant

Table 10 allows three main remarks:

- In contrast to mean temperature, the rainfall at Sfax shows no clear and significant overall trend, either on a seasonal or on a monthly scale.
- There are some signs of increased rainfall in annual totals, but the generally positive trend is weak and is not statistically significant.
- On a monthly scale, it may be said that rainfall remains stationary except, perhaps, for October and December for which there is a measurable but still weak increase.

2.2. Lithosphere

2.2.1. Geological setting

Sfax's sahel drainage basin is weakly ridged and essentially formed of vast depressions in which sebkhass occur. This sahel borders, to the east, a low-steppe zone and shows little folding at the surface because it is mostly buried Mio-Pliocene sediments. A part of this domain, which is considered as being a stable shelf, extends into the sea as a wide plateau known as the "mole of Kerkennah".

The Sfax coastal area is part of the sahelian shelf which is, structurally speaking, the most stable unit in the regional geodynamical record. The geological formations are little structured, with a few anticlinal folds in the Pliocene strata. Outcrops date from the Quaternary, the Miocene and the Pliocene (Amari, 1984).

The main lithological ensembles in the region, as shown by the sections of Amari (1984) in Figure 22, are, from the base to the summit:

- calcareous Villefranchian stratum at Hélicidés
- pebble conglomerates with calcareous blocks and Palæotyrrenian shells
- continental clayey sands, of Eupalæotyrrenian age, at Hélix
- shelly sandstones of Eutyrrhenian age
- conglomerates of blocks and/or sandstone pebbles of Neotyrrhenian age
- post-Neotyrrhenian red sandy clays
- marine strata of lumachellic limestones from the upper Tyrrhenian
- Holocene pink sandy silts
- stratified calcareous crust from the upper Pleistocene
- beige sandy silts or sands bearing potsherds from historical times on top of the present soil level

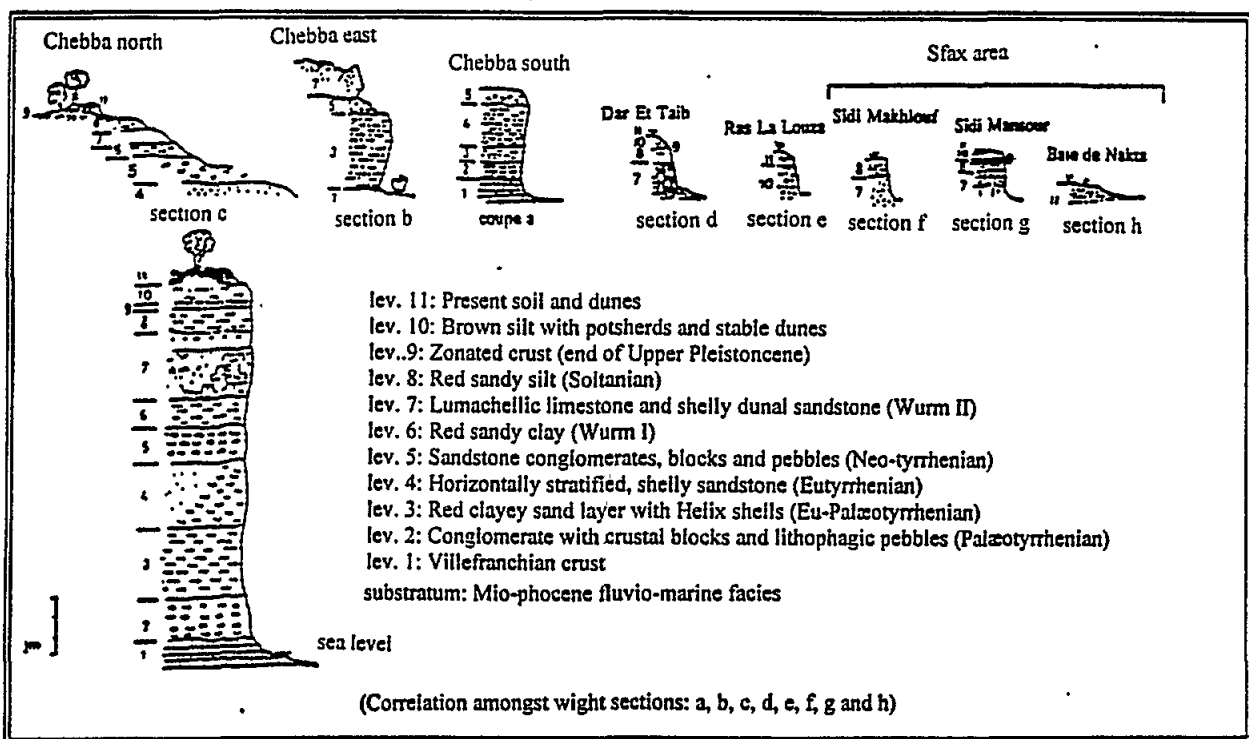


Figure 22. Synthetic geological section of the Sfax sahelian basin (Amari, 1984)

In the framework of the Sfax geotechnical project, Ben Dhia *et al.* (1990) described the structure of the subsoil. The detrital facies (fine to medium size fraction), formed by silt, sandy silt, sandy clay, sand and silty sand, describes the continental levels of the subsoil. At the present time, the pedological phenomena appear to have slowed down considerably and, practically speaking, strata do not form with the feeble rainfall. Nevertheless, a zonated crust almost at sea level and of variable thickness covers the fine silty Solanian sands and the Flandrian marine silts and clayey sands. The Villefranchian stratum is topped by a hard calcareous crust.

The wadi beds have a gravelly and clayey-sandy facies in most of the continental strata. The marine strata of the Sfax subsoil are composed of silt, silty sand, clay or chalk, and shelly limestone.

2.2.2. Geomorphological setting

The Sfax coastal area and its surroundings occupy a low plain, with altitudes often less than 30m. This plain is remarkably flat and monotonous. It is bordered by a series of low hills up to 100m high 20km from the coast at most. The slope is weak and lying in roughly an east-west direction; they are connected to the Mediterranean Sea by zones with only a very small slope: the sebkhas, vast depressions disposed as follows:

- Sebkha mta el Rherra, to the North
- Sebkha Bou Jmel, in the centre North
- Sebkha Mechiguig, to the West
- Sebkhas En Noua, Oudrane and El Bahar, to the South

A part of this domain, considered to be a stable shelf, extends seawards in the form of a large plateau, the "Mole of Kerkennah".

The morphology of this slightly folded region is essentially conditioned by erosion, especially when the wadis fill up with water. Drainage is through an ensemble of water courses established on an often fragile terrain composed mainly of moving sandy formations; accordingly, the study area undergoes water erosion during the wet season. The Sfax sahel often receives its rainfall as violent downpours which favour soil erosion either by vertical embankment and widening of the water-course beds or even by the creation of new gulleys. On the other hand, weathering is mainly due to wind action accentuated by the low rainfall and the overexploitation of the soil and its vegetation cover. The extraction of sand from the wadi beds aggravates erosion by run-off water, especially during flooding. The continuous operation of these various factors, which are due to natural causes as well as human activities, is producing a disquieting degradation of usable land and threatens agricultural production potential in a zone being given over to industry.

2.2.3. Pedology

Generally, the soil in the study area has a relatively variable texture, with normally high levels of clay (grain diameter 0.002mm) for the salty part, of silt (grain diameter 0.02mm) and sand (grain diameter >0.02mm) for the salt-free or perhaps cultivated part.

Regarding the chemistry, the soil salinity is significant, decreasing in the rainy season. pH is therefore alkaline, with values well above 7 (depending on the site), which supposes a significant electrical conductivity (measured in mmhos). As to the organic-matter content, levels of around 1% ensure a relatively low level of nitrogen in the soil, especially at high temperatures.

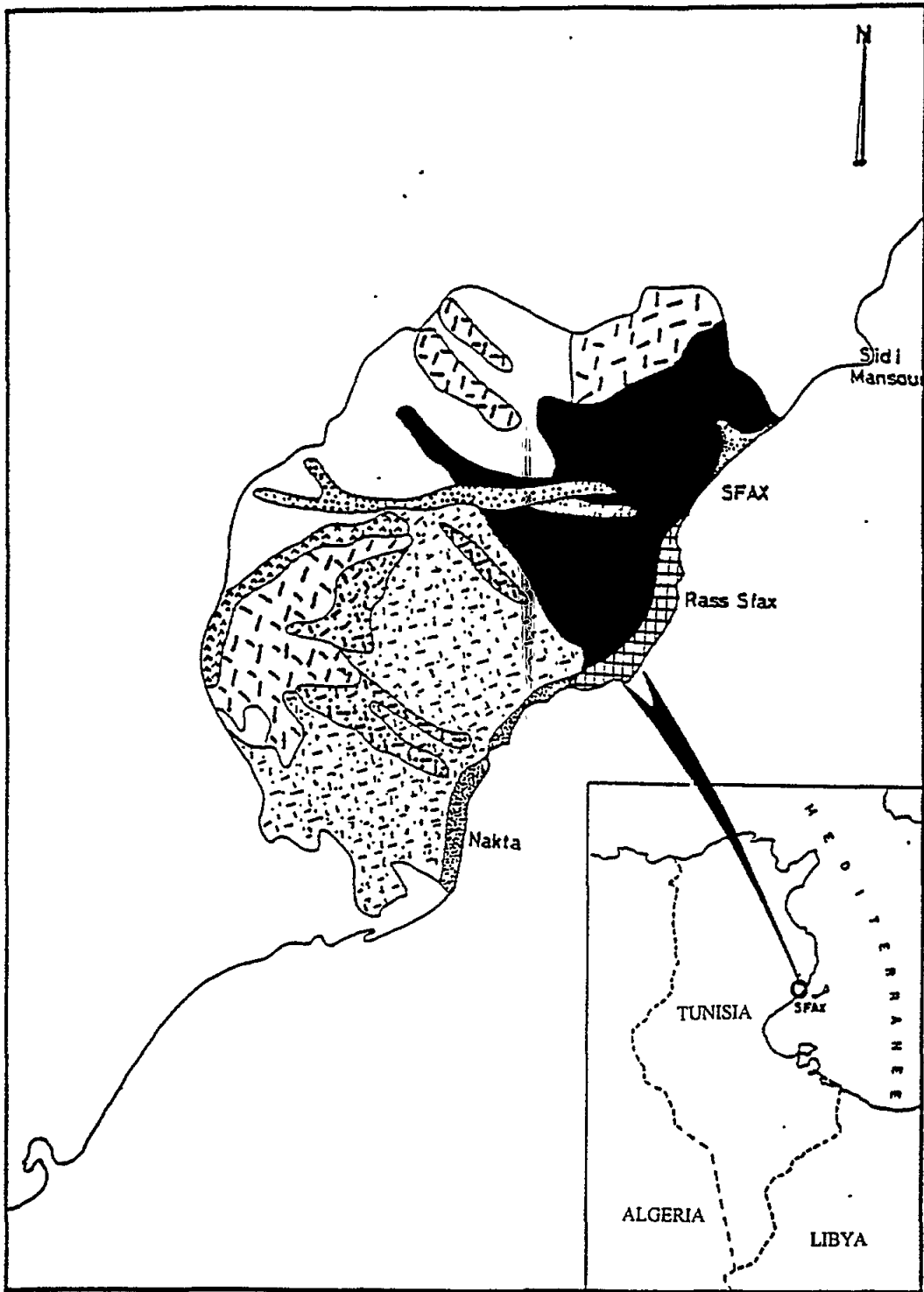
The study area is characterized by a weakly contracted edaphic environment, since there is no marked range of soil types. According to the pedological map of Tunisia, on a scale of 1:500,000 (DRES, 1973), the main edaphic formations, as well as the principal facies, found in this area are as follows (Figure 23):

- Soil of non-climatic origin with inputs carried by rivers; it is a poorly developed soil mainly characteristic of the Sfax orchards and is continually retreating in the face of increasing urban growth.
- Halomorphous soil, sometimes in the form of superficial salt crust, sometimes of a powdery surface layer; this formation is strictly littoral and can be seen along the line between Sfax and Nakta.
- Very salty halomorphous soil in the form of superficial salt crust; it is a salty-soil facies found mainly along the southern part of Sfax, but its extent in the study area is relatively small.
- Crusty, brown, isohumic, subtropical soil is the type most commonly found in the study area, especially in the southern part; this type has undeniable economic value since it is occupied by a large part of the Sfax olive orchards.
- Calcomagnesimorphic soil underlying a rendzini-form soil composed mainly of rendzines and brown, calcareous soils on a crust or a conglomerate; this type of soil occupies a small part of the study area, particularly in the hinterland. Given that it lies within the preceding formation, it may be assumed that it represents a degradation of the former.
- Rough mineral soils of non-climatic origin, but from riverine inputs. As the name suggests, this formation occupies a run-off bed and is built up from alluvial inputs; it is therefore of a very particular edaphic type, is not abundant in the area, and therefore is of little economic interest.
- Brown-yellow (or sierozem), isohumic, subtropical soil associated with lithosols on a calcareous crust. It is a formation bordering the study area; its skeletal appearance suggests that it is derived from the crusty brown soils that are the principal formation in the study area.
- Rough mineral soils of non-climatic origin, derived from lithosols or regosols; it is also a marginal, skeletal soil, able to serve for rainwater drainage from neighbouring areas. This type occurs only a small area of the hinterland in the study area.

It is clear from these pedological formations that, in spite of their limited extent, the study area presents a wide edaphic range. The formations described above can be grouped by their texture, as follows:

- skeletal soils
- light and moderately light soils
- hydro-halomorphous or heavy soils

In this way, given their physico-chemical characteristics, these different soil groups will react differently to eventual climate changes that might occur in the area.



Legend for the pedological map
(taken from DRES, 1973)









- | | |
|---|---|
| <p> LITTLE-EVOLVED SOILS OF NON CLIMATIC INPUT SOURCE
Modal input soils from riverine input</p> <p>HALOMORPHIC SOILS</p> <p> Highly saline soils with superficial salt crust</p> <p> Association of the two preceding entities</p> <p>ISOHUMIC SUBTROPICAL SOILS</p> <p> Crusty brown soils</p> <p> Young brown soils associated with lithosols on a chalky crust</p> | <p>CALCOMAGNESIMORPHIC RENDZINIFORM SOILS</p> <p> Rendzines and brown chalky soils on crust or conglomerate</p> <p>ROUGH MINERAL SOILS FROM A CLIMATIC SOURCE</p> <p> Lithosols, regasols (possibly lithosolic and regasolic soils associated with rare calcimorphic soils)</p> <p> Riverine input soils</p> |
|---|---|

Figure 23. The various soil types in the study area

2.3. Hydrosphere

2.3.1. Surface hydrology

During the wet periods of the Quaternary, the evolution of a hydrological network cut through the Plio-Quaternary formations, giving rise to a series of small valleys practically perpendicular to the coastline and which are occupied by wadis during floods. Thus, several hydrological entities of differing size characterize the Sfax sahel (Figure 24); these entities are sub-basins draining towards the Mediterranean.

The rarity of the rainfall, as well as the remarkable flatness of the region, means that the wadis are of a temporary nature the origin of which can be found in the Mio-Pliocene arching to the West.

The principal wadis are, from North to South:

Sidi Salah
Agareb
Chaffar
Terfaoui
Oudrane

The largest wadi in the region is wadi Leben, which traverses, from West to East, the Mehiri-Zebbeus and Dribika el Hamra ranges, becoming wadi Oudrane before finally reaching the coastal plain near Hachchina.

The other hydrological entities debouch into closed depressions (the sebkhas). In spite of their secondary character, due to their small size and weak slope, the wadis in this area may overflow at times of flooding, creating dangerous situations and substantial damage. Following the 1982 floods in the Sfax region, and given the great damage caused to property and people, serious thought was given to protecting Sfax against such flooding, by the construction of a belt channel around the city. This channel, which was used in rainfall management, has now become something of a collector for domestic waste and waste water from the ONAS sanitation network. This situation contributes partly to marine pollution in the Sfax coastal area.

Wadi Maou, resulting from the confluence of the Agazreb and Aouabed wadis, constitutes the natural outlet of the wadi Amer drainage basin. It debouches into the sea by the saltbeds. The wadi Maou's load comprises mainly fine components, since the discharge starts in, and flows through, mainly clayey soils. Such an impermeable lithological structure favours concentrated run-off, erosion and transport.

Regarding the mobilization of surface water, Amouri (1994) has estimated that the level of water run-off could be up to 45 million cubic metres per year, with a potential total mobilization of about 22.5 million cubic metres per year. In practice, the volume mobilized is only about 4.2 million cubic metres per year or 19% of the mobilizable resources.

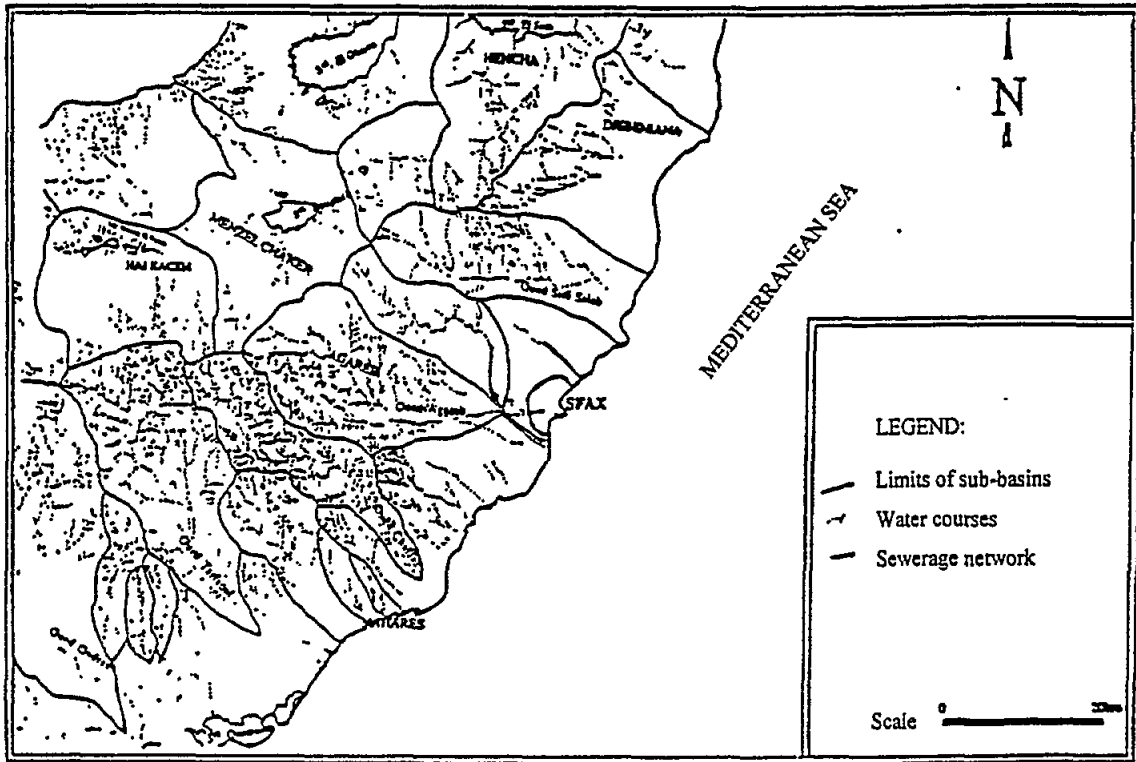


Figure 24. Hydrological network of the Sfax sahel

2.3.2. Hydrogeological setting

In the Sfax sahel, the economic, demographic and natural factors make the study, the management and the protection of the water resources one of the vital undertakings for the region.

Previous work has shown that aquifers are being more and more exploited for agricultural purposes, and some aquifers have become receptacles for domestic waste, as in the case of the Sfax urban aquifer (Beni Akhy, 1994).

The various aquifers found in the subsoil of the Sfax sahel have been explored by numerous superficial and deep wells. Depending on their detritic/lithologic structure, two geological formations are able to contain aquifers.

The first type contains the ground water and the second type holds the deep water table at Sfax.

2.3.2.1. Ground water

During the last decade, the sahel has seen a great extension of the irrigated perimeter areas using surface wells drawing from the ground water.

These sources are considered to be secondary aquifers, since, from the quantitative standpoint, their yields and their proportion of the overall water resources of the region are small, and some of them are, moreover, in an advanced state of over-exploitation. Because of their interest to agriculture, these aquifers are increasingly under stress. This has led to a decline in chemical quality, illustrated by the increasing salinity and, in certain places, near the sea, there is a real danger of direct seawater intrusion.

The ground water is entrapped in sandy beds of the Quaternary (Illy, 1968; Hajjem, 1980). The reservoir generally comprises two productive levels (three in the Chaffar region; Hajjem, 1985). These levels, the thickness of which is 2 to 5m (rarely more), are separated by sandy-clay semi-permeable layers which allow communication between the levels.

The reservoir formations, which are often of an alluvial nature, present a lateral variation in the facies, ranging from clayey sands to gravels and sands with gypsum to coarse-grained sands with gypsum, and from more or less coarse gravels to sandy clays. This lateral variation in the lithological facies of the formation means that the hydrodynamical parameters are variable, horizontally and vertically.

The monotonous topography and the geological top layer dominated by Quaternary formations does not allow the location of hydrogeological basin structures. On the other hand, the presence of depressions in the interior of the region and of wadis along the coastal zone allow some individualized hydrogeological basins to be delimited. It has thus been possible to delimit 16 aquifers of different sizes, of which 9 are in the coastal area and 7 inland.

The ground water is pumped out by surface wells, but the depth of the water table is rather variable from one aquifer to another and even within one aquifer. The depth varies between 0m (along the coast) and 30-40m in the highest areas inland (40m upstream of the Djebeniana aquifer; 23m upstream of the Sfax urban aquifer) (Figure 25).

The flow of the subterranean water is multidirectional. Generally, it is from north-west to south-east, in the direction of the Mediterranean Sea which is the main outlet for the coastal aquifers. Nevertheless, to the north of Sfax, the Djebeniana aquifer experiences a flow inland from the sea, confirming the intrusion of sea water (Maliki, 1994). This is evidence of over-exploitation of the aquifer through more and more intensive pumping.

The monitoring of the piezometric state of the Djebeniana and Sidi Abid aquifer over the last two decades has shown a fall in the piezometric level in the areas exploited for agricultural purposes. Negative piezometric levels have been measured: -4m relative to sea level at Ahzeg (Maliki, 1994) and -2m at Sidi Abid (Figure 26).

Study of the movement of the piezometric level of the Sfax aquifer (Figure 26) has shown an increase of more than 10m in the highly populated north-central parts of the city, where the sanitation is poor, probably in relation to the discharge of domestic wastes directly into abandoned wells. In the period 1969-1993, the profiles (Figure 27) show an overall increase of about 9m along the Gremda highway (at kilometres 5 and 6) and of 7m along the Mahdia highway (at the level of the wadi Ezzit).

This elevation is far from being uniform, either in space or in time. It is at a maximum along the alignment of the cities of Gremda, Chihia and Sakiet Ezzit (Figure 28). In contrast, the over-exploitation of the Sidi Abid aquifer has caused a reduction of about 2m (Beni Akhy, 1993).

Nevertheless, at Djebeniana, an increase in the piezometric level has been detected 9km from the coast where CES (Conservation des Eaux et Sols = Water and Soil Conservation) work has been undertaken by the Sfax Water Resources Department (Maliki, 1994).

In the Chaffar area, to the south of Sfax, on the Mediterranean coast, the overall trend in the piezometric level between 1973 and 1983 shows a slight drop of about 1m between wadi Chaffar and Sidi Bouakkazine (Hajjem, 1985).

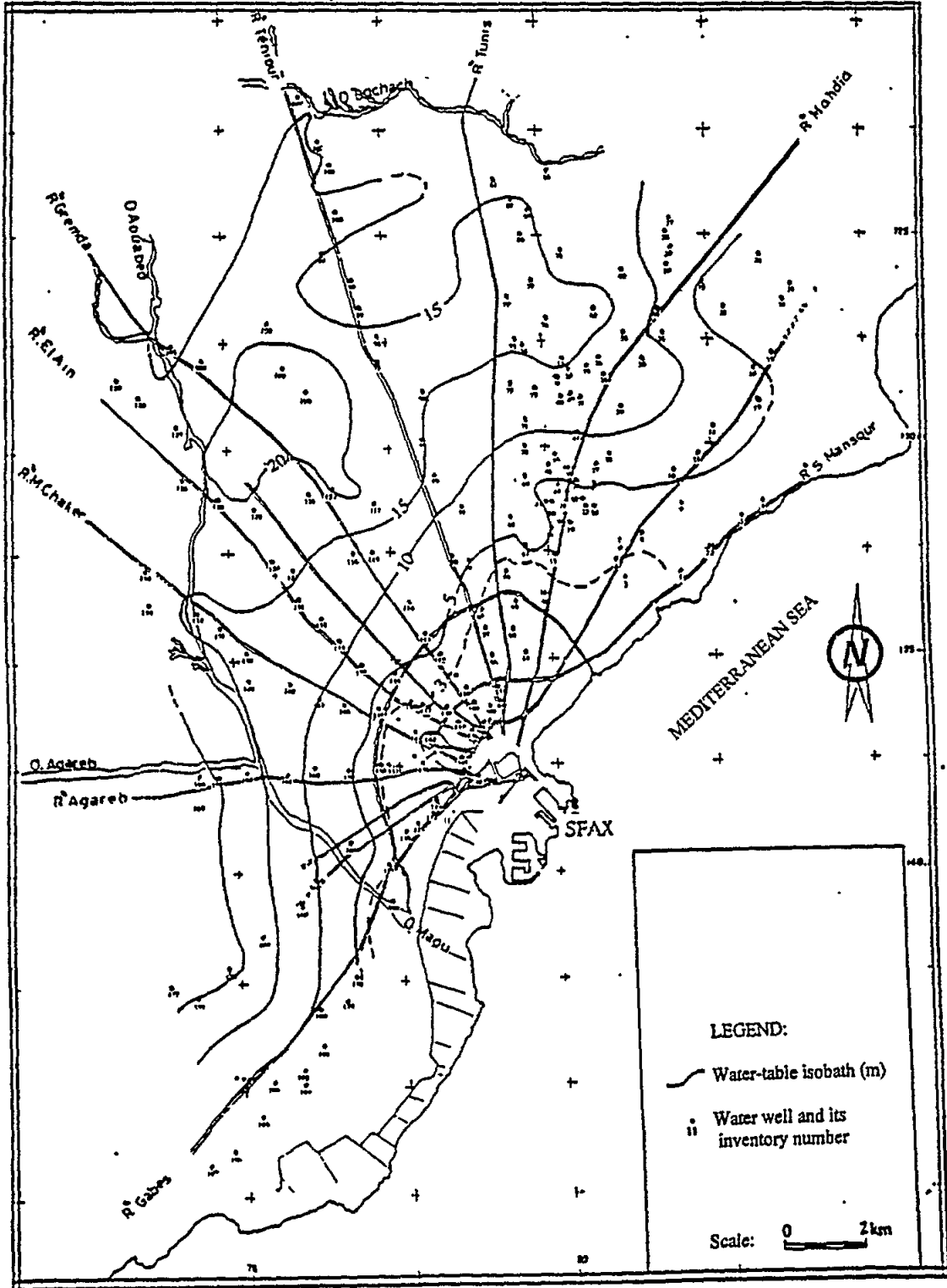


Figure 25. Map of the isobaths of the ground water in the Sfax aquifer

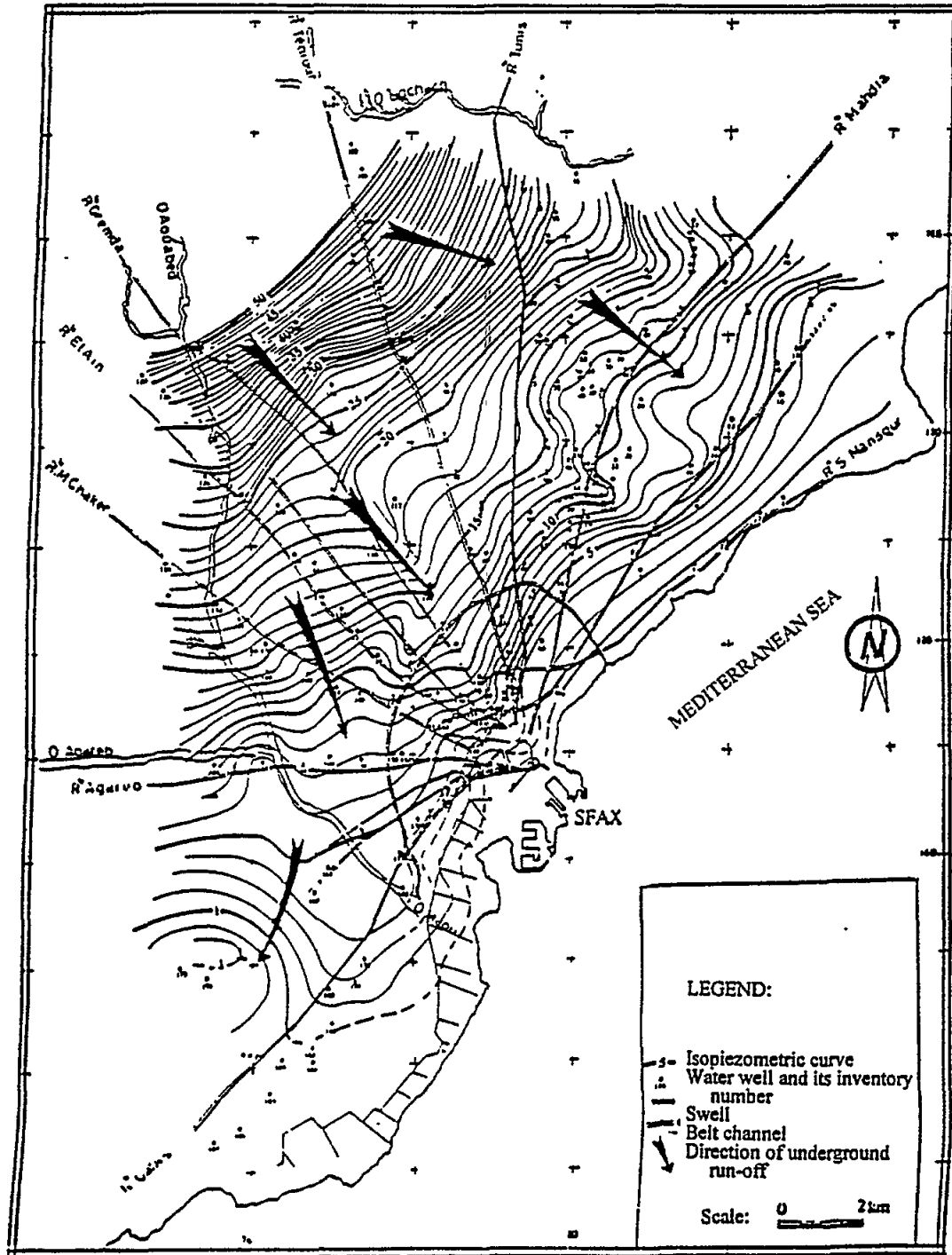
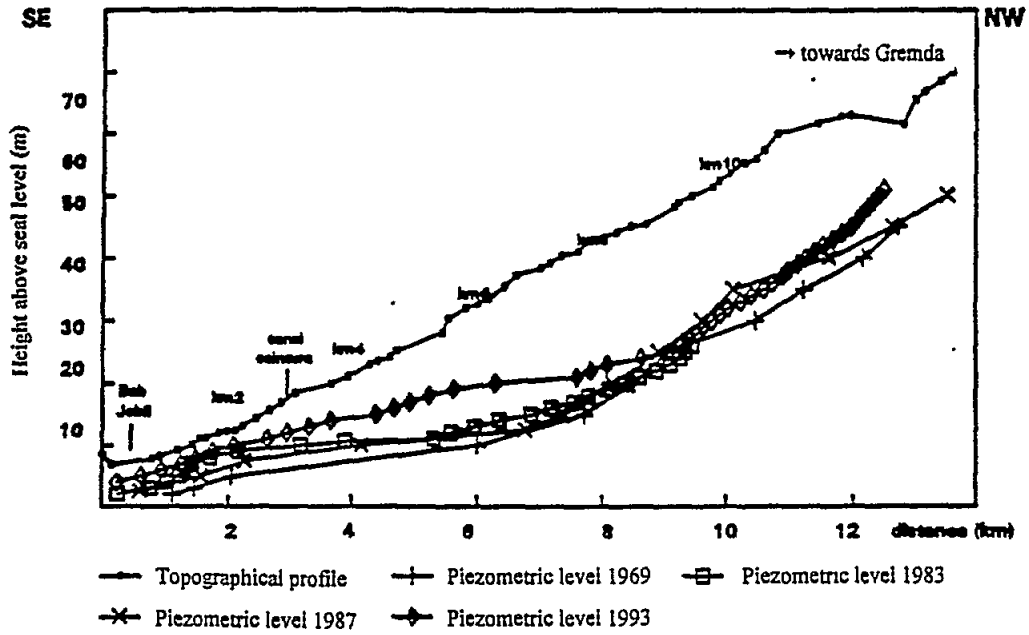


Figure 26. Map of the piezometric level of the Sfax aquifer

Chronological profiles of the Sfax water table along the Gremda highway



Chronological profiles of the Sfax water table along the Mahdia highway

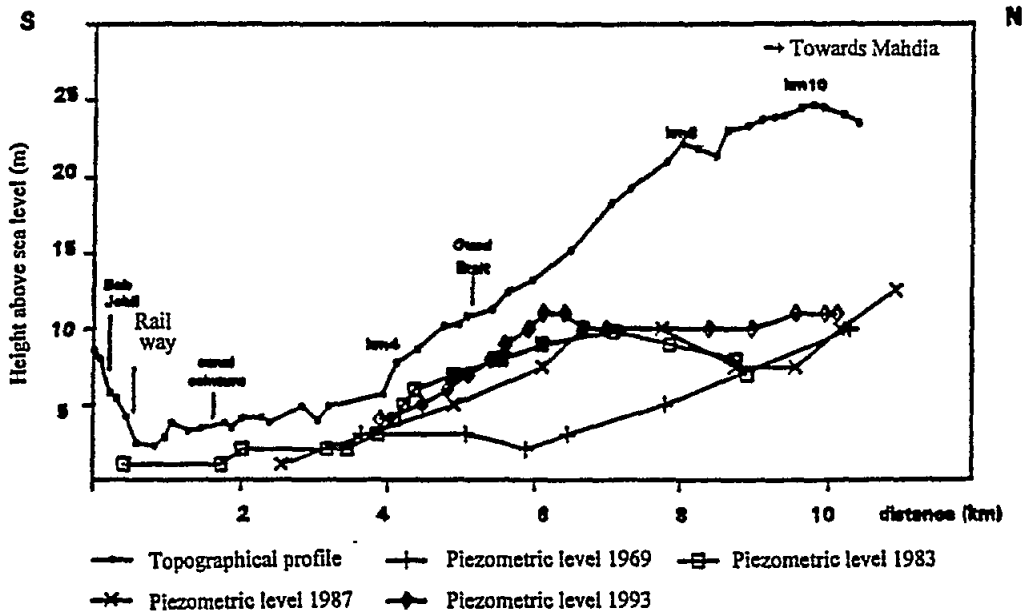


Figure 27. Chronological profiles of the Sfax aquifer along the Gremda and the Mahdia highways

2.3.2.2. Deep water table at Sfax

The second geological formation in the subsoil of the Sfax sahel corresponds to the deep water table (Figure 29). It covers the whole of the Sfax sahel and extends under the sea to the Kerkennah islands. Its offshore extension is limited to the north by the Ksour Essaf region where the sandy sequence disappears, and to the south probably off Skhira (Hajjem, 1989). With an area of 8,000km², the aquifer is located in a sandy sequence of the continental Miocene (Serravalian).

This aquifer, the thickness of which is between 200 and 300m is detected at a depth between 250 and 500m relative to the natural terrain (Zebidi, 1989).

The correlations between the different oil and water-well drillings have allowed the delimitation of this aquifer.

The deep aquifer at Sfax has been exploited for a very long time by industrial and agricultural artesian wells. The majority of these wells are concentrated in the coastal area between Mahdia and Skhira. Although easily exploited, because of their artesian nature, these wells have the drawback of a relatively saline water (S 1.7 to 15.3).

As result of demographic and economic (agricultural and industrial) growth, and an improvement in the standard of living of the human population, water demand has increased steadily. For this reason, numerous IRH drillings have been programmed under the VIII Plan (1992-1996), to respond to these needs and to improve the hydrogeological knowledge of the continental part of the aquifer. The drilling undertaken so far has shown that the aquifer is detectable at depths between 200 and 700m. A clay and marney-clay assemblage, with an average thickness of 400m, separates the shallow and the deep aquifers.

Exploitation of the aquifer has grown from 9.5 million cubic metres in 1986 to 17 million cubic metres in 1993. This increase is due principally to the establishment of new wells.

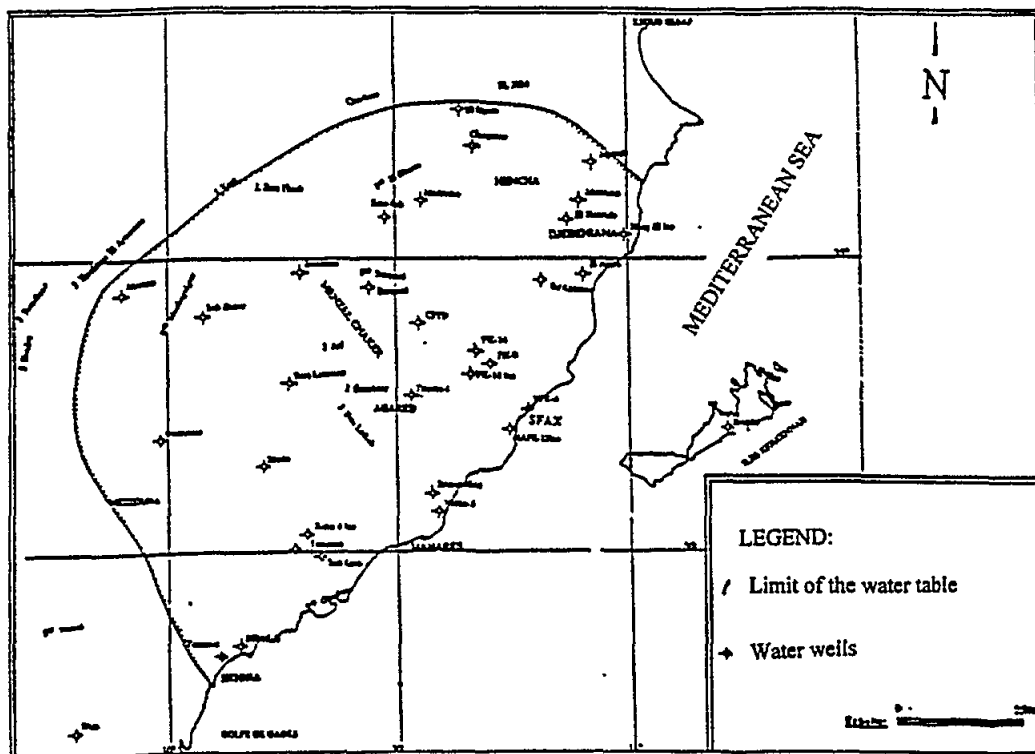


Figure 29. The location of water wells drawing from the Sfax deep groundwater aquifer

The application of isotopic geochemistry, which was started some months ago for the study of underground water, and especially for the study of the refilling, suggests already (following some ten carbon-14 datings) that the main refilling phase for the deep water goes back several thousand years (Pleistocene-upper Holocene) (Zouari and Maliki, in preparation).

2.4. Natural ecosystem

2.4.1. Terrestrial ecosystem

2.4.1.1. Saline ecosystem

As for the rest of the Tunisian coast, this system comprehends an essentially halophile flora or azonal vegetation (plates 1 and 2, pages 307 and 308). The range goes from strict halophilic to weakly halophilic or gypsohaloclinic.

Le Houérou (1969) distinguishes three different associations of azonal vegetation. The steppe is normally used for grazing by camels; when they are absent the natural vegetation cover remains relatively high, at values close to the best: 25 to 30% coverage. Amongst the commonest species is *Salsola tetrandra*, which is the dominant species, followed by *Suaeda mollis* and *Frankenia thymifolia* as co-dominant species. Bearing in mind the azonal character of the vegetation of the area, there is a low specific diversity. The main species found are listed in the following paragraph.

Table 11 shows the list of the principal native plant species occurring in the vegetation assemblies of the saline soils.

Table 11. List of the principal native plant species occurring in saline soils

Genus/species	Family
<i>Atriplex halimus</i>	Chenopodiaceæ
<i>Atriplex mollis</i>	"
<i>Atriplex inflata</i>	"
<i>Arthrocnemum indicum</i>	"
<i>Halocnemum strobilaceum</i>	"
<i>Suaeda mollis</i>	"
<i>Suaeda fruticosa</i>	"
<i>Salsola tetrandra</i>	"
<i>Salsola tetragona</i>	"
<i>Salicornia arabica</i>	"
<i>Frankenia thymifolia</i>	Frankeniaceæ
<i>Frankenia pulverilenta</i>	"
<i>Zygophyllum album</i>	Zygophyllaceæ
<i>Nitraria retusa</i>	"
<i>Lygeum spartum</i>	Graminaceæ
<i>Hordeum maritimum</i>	"
<i>Æliuopus littoralis</i>	"
<i>Sporibolus virginicus</i>	"
<i>Reaumuria vermiculata</i>	Tamaricaceæ
<i>Lycium arabicum</i>	Solanaceæ
<i>Launea nidicaulis</i>	Compositæ
<i>Tamarix africana</i>	Tamaricaceæ
<i>Juncus maritimus</i>	Joncaceæ
<i>Heliotropium curassavicum</i>	Boraginaceæ
<i>Imoniastrum monopetalum</i>	Plombaginaceæ
<i>Limonium prunosum</i>	"
<i>Limonium tunetanum</i>	"

It should be pointed out that most of the taxa mentioned above, being perennials, belong to one of three biological types proposed by Raunkiaer (1934): *chamephytes*, *nanophanerophytes* or *hemicyptophytes*. These biological types mean that the corresponding species are adapted to survive during conditions of rainfall and/or very high temperatures. Alongside these species, there is an annual flora, or *cherophytes*, that appear only during rainy years. This flora is composed essentially of *Hordeum maritimum*, *Plantago coronopus*, *Suaeda maritima*, etc. It is much influenced by climate changes.

2.4.1.2. Non-saline ecosystem

The general appearance of the vegetation of this ecosystem, as described by Labbe (1950) and Le Houérou (1959), is a *Rhantherium suaveolens* steppe of the arid zone of Tunisia. Nevertheless, under the influence human activities over the last several decades, this steppe has been totally cleared in favour of the production of olive oil, arboriculture and cereals. One can still observe today, however, the vestiges of this climatic vegetation, which still colonises the "tabias" and the hedges surrounding the fields. In contrast, the cereal vegetation is well in the middle of the grain fields.

Relict climatic vegetation

This vegetation (plate 3, page 309) has been described by Long (1949). It comprises perennial species found in the area during the study. The presence of species that are highly characteristic of the *Rhantherium suaveolens* steppe suggests earlier colonization of the zone by this natural vegetation group. Among these typical species, the most commonly found are given in Table 12.

Table 12. Relict climatic vegetation list

Species	Botanical family
<i>Cenchrus ciliaris</i> <i>Stipa lagascæ</i> <i>Stipa retorta</i>	<i>Graminaceæ</i>
<i>Rhantherium suaveolens</i>	<i>Compositae</i>
<i>Argyrolobium uniflorum</i> <i>Astragalus caprinus</i> <i>Retama rætam</i>	<i>Leguminosæ</i>
<i>Helianthemum lippii</i> var. <i>sessiliflorum</i>	<i>Cistaceæ</i>
<i>Echiochilon fruticosum</i>	<i>Boraginaceæ</i>
<i>Plantago albicans</i>	<i>Plantaginaceæ</i>
<i>Thymælea hirsuta</i>	<i>Thymæliaceæ</i>

Cereal vegetation

Cereal vegetation, as defined by Long (1954), comprises those naturally occurring plant species the appearance of which is related to the clearing of land or to its cultivation.

In the study area, it is a spontaneous vegetation, colonizing the orchards and olive-tree plantations found in the area. This vegetation has a relatively short life cycle in the Raunkiaer (1934) sense, generally completely drying out at the end of spring; it is composed mainly of the following commonly observed species (Table 13).

Table 13. Cereal vegetation

Species	Botanical family
<i>Lolium rigidum</i> <i>Cynodon dactylon</i> <i>Hordeum maritimum</i> <i>Avena fatua</i> <i>Phalaris minor</i> <i>Bromus rubens</i> <i>B. madritensis</i> <i>Aegylops ovata</i> <i>Schismus barbatus</i>	<i>Graminaceæ</i>
<i>Centaurea dimorpha</i> <i>C. furfuracea</i> <i>Launea residifolia</i> <i>Volutaria lippii</i> <i>Picns coronopufolia</i> <i>Launea angustifolia</i> <i>Echinops spinosa</i> <i>Atractylis flava</i> <i>Artemisia campestris</i> <i>Anacyclis syrtolepidoides</i>	<i>Compositæ</i>
<i>Diptotaxix narra</i> <i>D. simplex</i> <i>Lobularia lybica</i> <i>Mathiola longipetala</i> <i>Resada alba</i> <i>Salvia verbenaca</i> <i>Eruca vesicaria</i>	<i>Cruciteræ</i>
<i>Euphorbia terracina</i>	<i>Euphorbiaceæ</i>
<i>Emex spinosus</i>	<i>Caryophyllaceæ</i>
<i>Anagallis arvensis</i>	<i>Primilaceæ</i>
<i>Daucus carota</i> <i>Pituranthos tortuosus</i>	<i>Umbelliferæ</i>
<i>Mesembrianthemum cristallinum</i>	<i>Aizoaceæ</i>
<i>Malva ægyptiaca</i>	<i>Malvaceæ</i>
<i>Nicotiana glauca</i>	<i>Solanaceæ</i>
<i>Meillotus parviflora</i> <i>Medicago minima</i> <i>Argyrolobium uniflorum</i>	<i>Leguminosæ</i>
<i>Chenopodium album</i>	<i>Chenopodiaceæ</i>
<i>Erodium glaucophyllum</i>	<i>Geraniaceæ</i>
<i>Polygonum equisetiforme</i>	<i>Polygonaceæ</i>
<i>Ecnium pycnanthum</i>	<i>Boraginaceæ</i>
<i>Fagonia glutinosa</i>	<i>Zygophyllaceæ</i>

Wasteland vegetation

The area being as earlier described, that is, highly urbanized, a spontaneous vegetation composed of annual and perennial plants has arisen in the vicinity of construction sites; these plants are known as ruderal or nitratophile plants. Their presence is thus rather related to the locally high nitrate level (Table 14).

Table 14. List of the ruderal vegetation

Species	Botanical family
<i>Malva ægyptiaca</i>	Malvaceæ
<i>Phagnalon rupestre</i>	Compositæ
<i>Eregiron canadense</i>	"
<i>Nicotiana glauca</i>	Solanaceæ
<i>Urtica urens</i>	Urticaceæ
<i>Marrubium alysson</i>	Labiataeæ
<i>Peganum harmala</i>	Zygophyllaceæ
<i>Kochia indica</i>	Chénopodiaceæ

2.4.2. Freshwater ecosystem

The study area does not encompass any freshwater ecosystems (dams, water courses, lakes)

2.4.3. Marine ecosystem

2.4.3.1. Introduction

That part of the Sfax coast considered in this report extends for 25km and is part of a large maritime unit, the Gulf of Gabès, which is considered to be one of the most polluted areas, but in which fishing is an important activity.

The Tunisian coast shows great structural homogeneity from Cape Bon to the Libyan border near Tripoli. Recent Quaternary deposits cover a major part of the coastal area, extending out 100km or more offshore (Gruvel, 1926).

In the Gulf of Gabès there is therefore a vast marine abrasion surface dating from the Pliocene and Miocene though often covered by marine or continental formations from the recent Quaternary (Castany, 1955, in Ben Othman, 1973).

The submarine relief of the Gulf of Gabès is similar to that of the steppe and plain of the hinterland. Poizat (1970) distinguishes two zones in the Gulf of Gabès, with different topographies separated by a NW-SE ridge (at 25m depth) joining Djerba with the Kneiss archipelago.

The southern part of this ridge has a relatively complicated topography marked by domes and depressions. The northern part, which corresponds closely to the study area, has a simple relief with a fairly marked slope. This area, which extends from Ras Kapoudia to South Kneiss Bay, is bordered by an elevated silty-sand bottom cut by relatively deep channels.

The coastal area of the Gulf of Gabès is characterized, to the North, by a low marshy coast bordered by sandy banks. In the vicinity of Sfax. To the South lies the South Kneiss Bay which is filled with a vast mud bank. The western coast of this bay is bordered by steep reddish cliffs; sebkhas are common in this coastal area (Seurat, 1929, 1934).

2.4.3.2. Sedimentology and the biocoenose

In this area the sediment is largely made up of sand with a strong vegetal density. This formation extends from the beaches out to a depth of about 20m. In certain places (south-east of Maharès and south of Kerkennah), there are areas of gravel or of calcareous algæ concretions with the extensive sandy area.

Beth Othman (1973) described the following sedimentological succession along the 34°30'N parallel:

- from 13 to 50m depth, the bottom is covered successively by sand, silty sand, and sandy silt
- from 50 to 80m depth, the succession is sandy silt - silty sand - sand
- from 80 to 200m depth, the sediment becomes mainly silty sand.

From the standpoint of the biocoenose, to the north-east of the ridge between Djerba and Kneiss, silt-loving organisms are absent owing to the strong hydrodynamics. It is a coastal detritic sand biocoenose (CDS). The scoured bottoms (channels, wadis and areas exposed to tidal currents) are occupied by a biocoenose characterized by coarse-grained sand (CS) and fine gravels (FG) (Poizat, 1970).

Various studies (Ktari-Chakroun and Azouz, 1971; De Gaillande, 1970; Perès and Picard, 1964) have described certain particularities of the Gulf of Gabès:

- The grain size of the sediments near the sea-grass beds is very fine, owing to the fact that these beds are sediment traps
- Progressive silting of the area, forecast in 1954 by Moulinier and Picard and confirmed by various subsequent authors since 1970
- Instability of the edaphic factors, maintained by a system of complex currents and special hydrodynamic conditions; this agitation influences the nature of the biocoenoses. Far from the sea-grass beds and algal mats, which reduce this influence, a large number of species that mark this situation (bottom covered with ascidians, echinoderms and calcareous red algæ colonies etc.) are found.
- In its continental part, the Gulf of Gabès is bordered by a coastal area with a monotonous topography (altitude always less than 200m). To the north and to the south-east, this ensemble is bordered by a sharper relief (between 200 and 500m) which may channel the desert wind (*simoum*) from the south-west, which is a very important factor in the dynamic and ecobiological equilibrium of the environment.

2.4.3.3. Physico-chemical parameters

Surface-water temperature

Studies carried out at the beginning of this century showed that the temperature of the surface waters of the Gulf of Gabès varies considerably depending on the season, the latitude and even the day. The water temperature varies in the same way as the ambient air temperature, though generally remaining 1.2 to 3°C higher in winter, and lower than the air temperature in the summer. Amara (1984) notes this difference but also points out that there is even seasonal lag between the sea and the air: summer air temperature corresponds to spring sea-surface temperature.

According to Ktari-Chakroun and Azouz (1971), the mean temperature of the sea water in the Gulf of Gabès is 13°C in winter and 26°C in summer.

The analysis of more recent sea-surface temperature data, for the periods 1982-1984 and 1990-1994, taken by the SEREPT in the Gulf of Gabès (in the vicinity of 34°15'N, 11°25'E) (Figure 30), suggests an increasing trend in mean temperature in autumn, winter and spring, and a decreasing trend in summer. Such a tendency has also been noted by Bousnina (1995) in the mean temperature at Sfax from 1900 to 1985. This author recorded a marked warming in autumn, winter and spring and slight cooling in summer. The sea-surface temperature varies likewise.

The temperature difference between the sea surface and the bottom is small; it does not reach 1°C in the first 20m and rarely exceeds 1°C even down to considerable depths. On the other hand, the temperature difference between the coast and offshore is rather big. Seurat (1929) noted that the daily warming and nocturnal cooling are easily perceptible, especially over shallow depths (shallow bottoms and low-lying beaches, such as those of Maharès and Kneiss). Brandhorst (1977) recorded decreasing temperature from west to east in the Gulf of Gabès.

Salinity

The study of this parameter over the Kerkennah plateau by Amari (1984) showed the following:

- Sea-surface salinity is generally less than that of the deep water, throughout the Gulf of Gabès; Gruvel (1926) noted, however, that salinity only started to increase below a depth of 50m.
- Salinity varies with the tidal cycle and during the seasons; Sarbegi (1991) pointed out that the sea-water salinity is relatively high (≈ 40) off the epuration station.

At latitude 34°30'N between the meridians 10°40' and 11°50'E, Ben Othman (1973) noted that the coastal waters have a salinity stratification that is not found in offshore water, from which he concluded that the relatively homogeneous offshore water mass (in respect of temperature and salinity) is an eddy of the Atlantic water that enters the eastern Mediterranean. He observed a salinity of 37.5 between the depths of 13 and 50m, and of 37.9 between depths of 50 and 200m.

Dissolved oxygen

There have been very few studies of the dissolved-oxygen content of sea water. Amari (1984) presented some values for the coast north of Sfax, and pointed out that the daytime values are higher than the nighttime values (7.35ml/l, by day, and 7.2ml/l, by night). These diurnal variations are generally attributed to photosynthesis by the sea-grass beds. Sarbegi (1991) noted that, in the discharge area of the "Siape-Onas" plant (south of Sfax), the dissolved oxygen level varied little, values ranging between 6 and 7ml/l. The saturation threshold is a function of temperature; generally, an increase in temperature leads to a drop in the dissolved-oxygen level.

Turbidity

According to Amari (1984), the concentration of suspended matter over the shoals of Kerkennah is generally low, from 1 to 30mg/l, on average. It depends mainly on the tidal currents in the channels and the agitation due to the swell over the shallow bottoms; the turbidity is therefore low in spring and summer, relatively high in autumn and high in winter, the swell being strongest in these two seasons and resuspending sedimented matter.

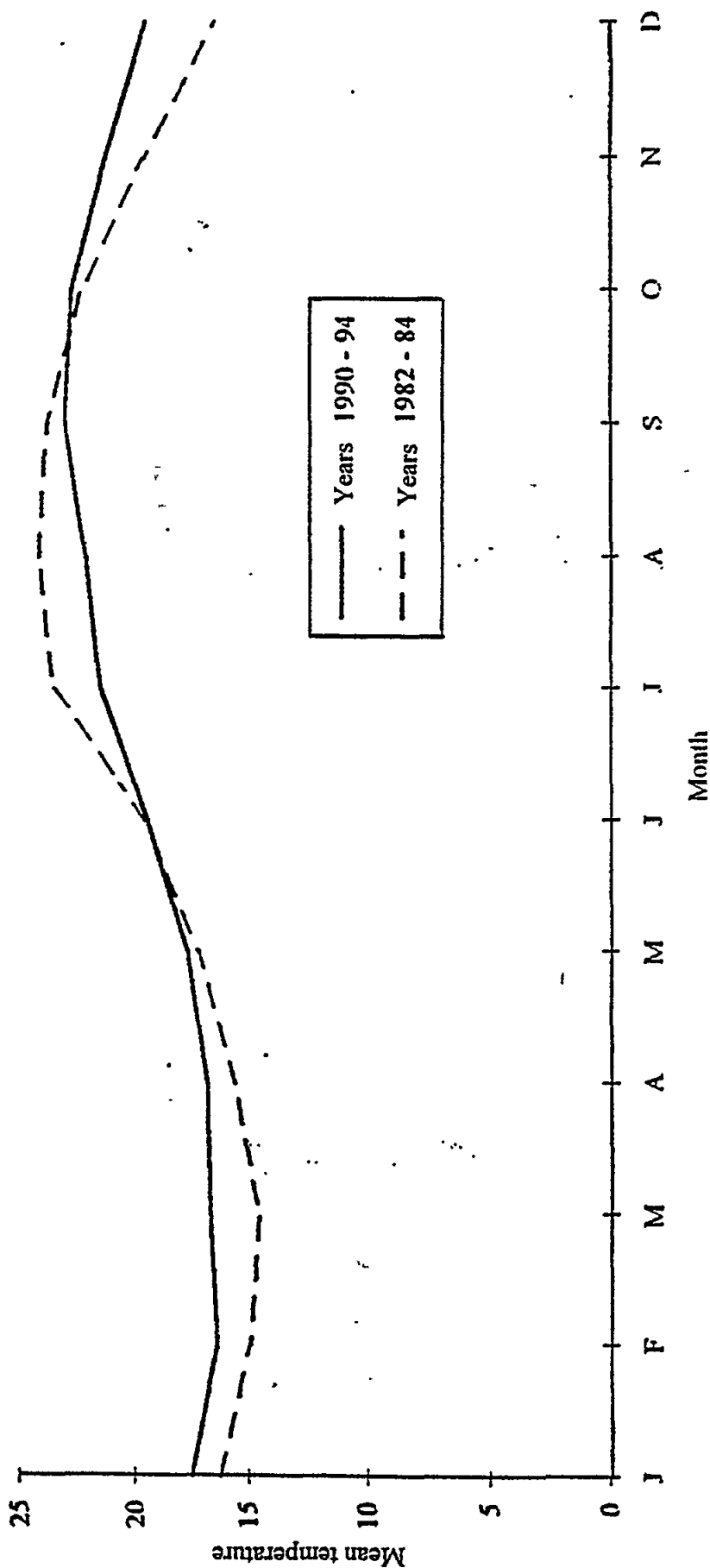


Figure 30. Monthly variation in mean sea-surface temperature (in the vicinity of Ashtart)

In certain areas of the Gulf of Gabès, the light penetration is limited, in the best of circumstances, to a depth of 10m (Zaouali, 1993). The discharge of phosphogypsum and the continual disturbance of the sea bed by bottom trawling go a long way to explaining this strong turbidity.

2.4.3.4. Oceanographic conditions

Tides

The Gulf of Gabès is subject to a semi-diurnal tide; the tidal amplitude is greatest in the middle of the Gulf (maximum of 2m at high tide), decreasing towards the periphery. The observed tides at the port of Sfax show the following deviations from the hydrographic reference:

- high water level of spring tide: +1.60m
- low water level of spring tide: +0.30m
- high water level of neap tide: +1.10m
- low water level of neap tide: +0.70m

Relative to these tidal values, level changes due to wind action and variations in atmospheric pressure must be taken into account.

The degree of strand development depends on these sea-level variations, as well as on beach slope. Strands extending for several hundreds of metres exist in the region; the salt beds of Sfax and the Maharès strand may be mentioned.

The extent of these strands is very interesting from the standpoint of floral and faunal populations, as well as from that of economic exploitation. Generally, a burrowing and filtering fauna develops in these areas. Vegetation that is easily detached and is resistant to strong light and strong hydrodynamics easily colonises available surfaces.

From the economic standpoint, the importance of the tidal range and the extent of the Sfax coastal strand favour a highly artisanal fishery: fixed-gear fisheries such as the "zroubs" (a kind of fixed fish trap made from palm leaves) and "chrafis" (octopus pots attached to a bottom longline) and digging for clams (*Ruditapes decussatus*, Lamellibranchia, much in demand on the international market) are widely practised in the area. The tidal regime has also been exploited for salt extraction from the Sfax salt beds which extend over some 14km, from the Sfax fishing port to Thyna.

Winds and currents

In the south of Tunisia the wind regime is comparatively regular. Westerly winds predominate in winter, and easterly winds, in the summer. The average wind speed is between 2 and 4 m/s; winds in excess of 9m/s are rare. A very dry hot S or SW wind may occur from time to time in the summer; when it is sufficiently strong it can raise dust clouds that have a significant impact on the hydrodynamics of the Gulf of Gabès (Poizat, 1970).

Regarding currents, the current that arrives south of Ras Kapoudia crosses the Kerkennah shoals where it bifurcates, one part "ricochets" off the shoal and turns coastward reaching the coast at the level of Sfax. The other part, which is the greater, continues into the Gulf of Gabès. At the level of Djerba, a branch enters the Ajim channel in the Boughrara Sea while the western part, which breaks on the coast, forms a countercurrent which follows the coast, albeit weakly, towards Gabès (Figure 31).

The tidal currents are strong in the area but they are irregular; they can be hidden or even stopped by the dominant winds, sometimes leading to the creation of relatively strong countercurrents. In the Sfax-Maharès area, such currents run practically parallel to the coast.

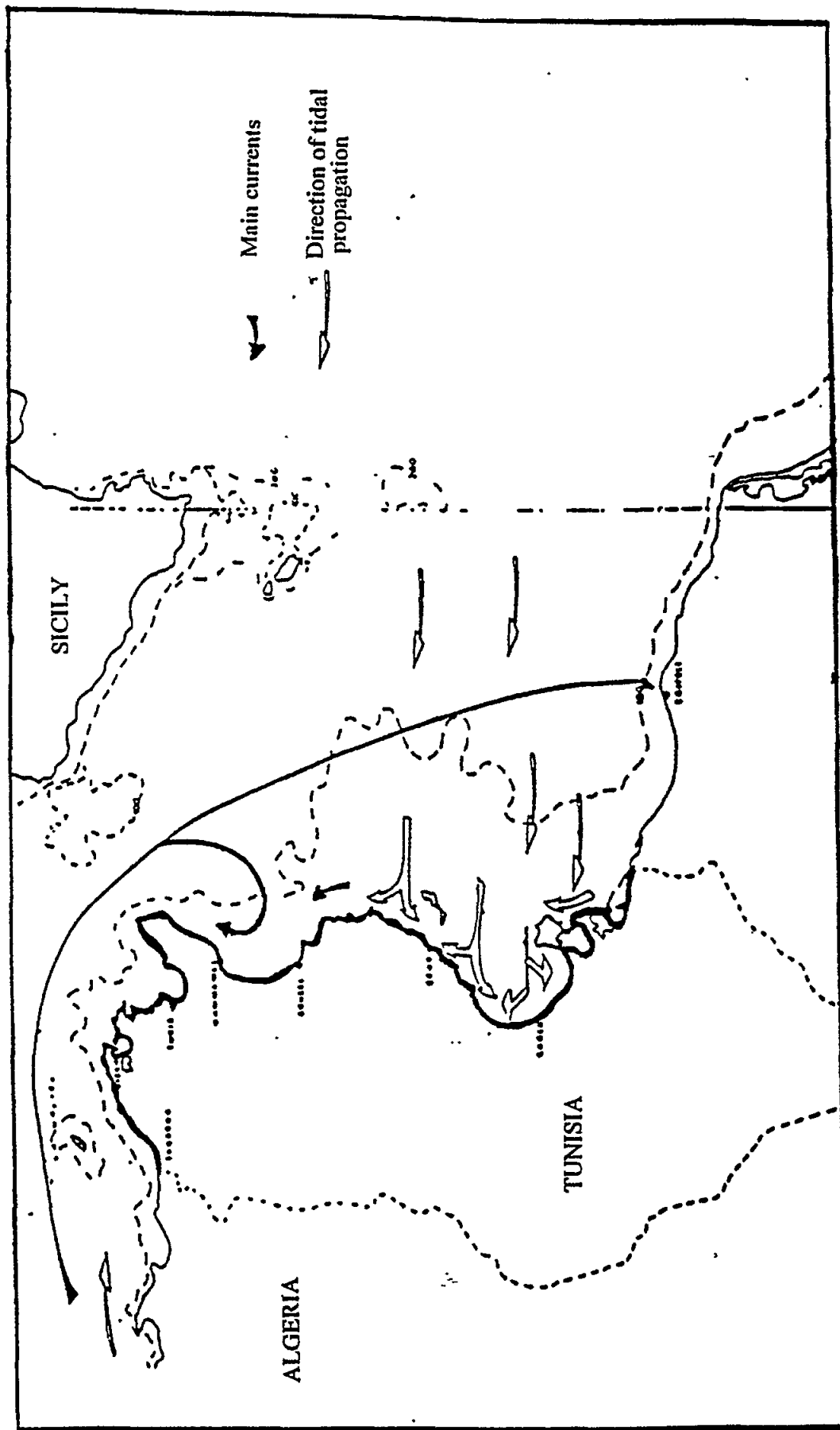


Figure 31. Diagram of the main currents and tidal propagation (according to nautical charts)

Generally speaking, the tidal currents and the coastal currents play an important role in the longshore transport and the dispersion of pollutants.

The Atlantic current that enters the Mediterranean through the Strait of Gibraltar runs along the north coast of Tunisia but its influence disappears in the Gulf of Gabès as it moves offshore towards the south-east. Nevertheless, Ben Othman (1973) detected an eddy of this Atlantic current in the Gulf of Gabès.

Waves and swell

Amari (1981) showed that, under the action of the local and offshore winds, the swell is relatively unstable in this region, although the currents it induces are 2 to 5 times stronger than the tidal currents. For this reason, the swell plays an important role in sediment transport. The offshore swell is stronger and is related to global low-pressure systems.

The swell, and especially the offshore swell, are greatly weakened off Sfax, owing to the shallow depth and weak bottom slope; it is also reduced by the better developed sea-grass beds.

2.4.3.5. Bio-ecological context

Vegetation cover

The vegetation profile in the Gulf of Gabès is marked by succession of the most typical Mediterranean sea-grass beds.

In the mesolittoral zone (equitidal zone), the phytobenthos varies little; it is characterized by certain green algæ (*Uva*, *Enteromorpha*, *Valonia* etc.) which may cause some spectacular phenomena ("green tides") especially along the coast to the north of Sfax Hamza *et al.*, 1995). In the rockier and more protected zones (Kerkennah and Kneiss), blue-green algæ (*Lyngbya*, *Cyanophyceæ*) and red algæ (*Laurencia obtusa*) are found. At this level, *Zostera* sea-grass mats are also observed; they sometimes overlap the belt of *Cymodoceæ*, thus announcing the appearance of meadows of this phanerogam in the upper infralittoral zone. The *Cymodoceæ* prairies are generally present at a depth of about 1.5m at about 600m from the shoreline; they colonise the coastal area in the form of continuous bands out to depths of 3 to 4m, beyond which, the *Posidonia* sea-grass beds commence.

On either side of the city of Sfax, around the Kerkennah islands and at the level the Kneiss islands, the *Posidonia* beds show specific structure and bottom coverage. The boundaries are often shrinking and varying from one place to another (Ben Mustapha and Hattour, 1992).

Passing from the coast at Sfax-Sidi Mansour to that of Kerkennah, the *Posidonia* sea-grass beds start at a depth of 4m. This type III sea-grass bed (leaf density of 300 to 400 bundles per metre squared) has a striped-reef form and often in the form of a ribbon. This sea-grass bed deteriorates at the level of the Eilouza canal, and especially at Sfax, where it is present only as dead, silted-up mats which are sometimes colonised by numerous green algæ (*Caulerpa prolifera*, *Codium bursa* and *Valonia macrophysa*) and by some brown algæ. Some clumps of *Posidonia* subsist in the silty-sand zone that follows. They are surrounded by silted-up depressions in which decaying leaves collect and created "rotten" bottom that encourages the development of certain crustaceans (*Penæus kerathurus* and *Squilla mantis*).

Beyond the canal, the *Posidonia* beds resume their typical morphology and extent up to the depth limit at the Kerkennah coast before yielding to the *Cymodoceæ* sea-grass beds which continue almost to the shore line. *Caulerpa* with short fronds and a striking green colour is sometimes mixed with the *Cymodoceæ* forming, in some places, remarkable "lawns".

To the south of Sfax, as far as Maharès, the *Posidonia* beds are in good condition. They are still of the type III, with a striped structure and in clumps at shallow depths (1.5 to 3m), but in a continuous mat between depths of 5 and 10m. Fringing reefs are also found hereabouts over shallow bottoms. To the south-east of Kneiss, at a depth of 10m, the sea-grass bed becomes completely degraded. Towards Skhira, it is of type II in shallow depths and resembles the regressive limit of type III starting at a depth of 5m, at which these beds become heavily silted.

Notwithstanding the relatively good state of the *Posidonia* sea-grass beds in this northern part of the Little Syrte, they have a sensitive structure (striped, in ribbons and fringing) that is vulnerable to alterations due to human activities. Such beds have been classed throughout the Mediterranean as protected areas.

Molinier and Picard (1954) describe some specific characteristics of these sea-grass beds related to the climatic and ecological conditions in the Gulf of Gabès. Growth towards the sea surface is sometimes arrested a few metres from the surface by the too strong summer warming. This, in turn, also affects the plants' morphology; the plants exhibit a shrinking of their terminal growing points and assume the shape of a flattened sugarloaf.

These climatic conditions also seem to favour sexual reproduction at the expense of vegetative reproduction, which allows a more rapid expansion of the species. Sexual reproduction, which has remained unobserved for several decades, reappeared in 1993 (Hamza and Bradai, 1994).

It should be noted that, each time the sea-grass bed is disturbed by dredging or similar gear, it is colonised by green algæ. At present, the *Caulerpa prolifera* mats that succeed the sea-grass beds and extend to depths of 40m are also eclipsed at different places in the Gulf of Gabès. From the area to the south of Maharès only a few "islands" remain, on the edge of *Posidonia* mats.

Beyond the *Caulerpa* mats and down to ombrophilic depths, the bottom is covered by red algæ (*Vidalia volubilis* and *Rhytophlea*) and by calcareous red algæ (mari bottoms).

Nevertheless, it should be noted that silting (whether natural or man-made), turbidity, reduction in the sea-grass beds and the enrichment of the environment in nutrients have produced ecological disequilibrium. Several phenomena have been favoured; among others: the "green tides", discoloured water, intrusion of non-endemic species into the area.

"Green tides"

The proliferation and accumulation of green macroalgæ is a common and spectacular occurrence off some beaches along the Sfax coast. Several factors determine the occurrence of this phenomenon:

- Hydrodynamics, and especially the tides, which ensure the transport and accumulation of algæ along the coast and continuous oxygenation of this biomass.
- The gentle slope and the extensiveness of the beaches.
- The richness of the environment in organic compounds, giving the green algæ a growth potential.
- Strong radiation and high temperatures.

On the coast to the north of Sfax, this phenomenon was due mainly to the stranding of a green alga, *Ulva rigida*, especially in the spring. For the last three or four years, the phenomenon has varied and new outbreaks of *Valonia* and *Chætomorpha* have appeared. Such "green tides" are to be seen all year long.

The maximum biomass of *Ulva* occurs at times of maximum insolation, whereas that of *Valonia* appears to be conditioned by nutrient concentration and therefore occurs in autumn when the terrigenous inputs and the decay of beached algæ and phanerogams are at a maximum (Hamza *et al.*, 1995).

Phytoplankton and phytoplanktonic blooms

Many studies have reported the richness of the coasts of the Gulf of Gabès in microalgæ, hence the abundance of species that feed on them (sponges, ascidians, clams etc.).

Moreover, remote-sensing imagery of the chlorophyll distribution in the Mediterranean basin (1979-1985) reveals the special nature and the phytoplankton abundance of the sea water in the study area. The shallow depths and the abundance of the sea-grass beds appear to be the cause of the eutrophication.

Phytoplankton blooms, better known in the lagoons and other enclosed coastal areas, have occurred increasingly in the sea in the last decade. Since 1988, this phenomenon has been observed each summer in the Gulf of Gabès. At this time of the year, the gulf resembles an enclosed area: the water hardly moves and is subject to very strong evaporation under the strong sunlight.

The growth of industry along the coast and the degradation of the sea-grass beds have increased the environmental organic load which favours phytoplankton production.

The blooms of blue-green algæ, which were monitored from 1988 to 1993, were governed essentially by climatic parameters (temperature and winds) in the presence of heavy phosphate loading by direct discharge into the sea from the ICM (Industrie Chimique Maghrebine = Maghreb Chemical Industry) with dispersion by the fairly complex current system (Hamza and El Abed, 1995).

The appearance of discoloured toxic water, due to dinoflagellates, in 1994 at several places in the Gulf of Gabès (Sfax, Kerkennah, Skhira and Boughrara) is probably conditioned by the specific characteristics of each region; the toxic phytoplankton was, from the diversity standpoint, different from place to place.

Along the Sfax coast, the summer and autumn of 1994 were marked by the appearance of discoloured toxic water, due to ichthyotoxic dinoflagellates.

Marine invertebrates

The benthos in the northern part of the area is richer and more varied than that in the southern part. This greater wealth in the northern part is largely explained by the nature of the sea bottom which is rocky, protecting the biocoenoses, and by the hydrodynamics which play an important role as a mixing zone between the Atlantic and Mediterranean waters. In the southern part, these characteristics are absent and, moreover, there is already overexploitation of the sea bed resources.

The benthic bionomics of southern Tunisia are characterized by the relative abundance of certain invertebrates, such as the bivalve *Pinctada radiata*, the echinoderms *Paracentrotus lividus*, *Ophiomyxa pentagona*, *Antedon mediterranea* and *Dorocidaris papillata*, the errant polychæte *Hyalonoecia tubicola*, the ascidians *Ascidia mentula*, *Phallusia mammulata* and the sponges *Euspongia officinalis* and *Hippospongia communis* (Ben Othman, 1973). Bonnet (1980) found that certain species of commercial value find offshore in the Gulf of Gabès an unusual terrain favourable to their development; this is probably closely related to certain tropical affinities in the environment.

In the study area, and especially at the level of Maharès, Seurat (1934) gave the following description of the faunal characteristics of the intertidal zone:

- The upper horizon is inhabited by the crustaceans *Orchestia gammarella* and *Coelostoma hispanicum*.
- The middle horizon, of silty sediment sometimes with scattered pebbles, especially near Maharès, is occupied by populations of *Sphæroma serratum* and *S. ephippium*, and of *Nereis diversicolor*.
- The lower horizon is characterized by cymodocean sea grasses in which are commonly found the crustaceans *Mesopodopsis slabberi*, *Carcinus aesterii*, seahorses (syngnathid fishes), *Aphanius fasciatus* (a cyprinodontid fish) and blennies (blennid fishes).

Farther to the south, near wadi El Maltine, the beaches are more silty. Zosteran and cymodocean sea-grass beds are found in the lower horizon; they are colonised by annelid worms (*Perinereis cultrifera*), the sphærome sea grasses (*Sphæroma marginatum* and *Cymodocea spinosa*), the molluscs (*Cerastoderma glaucum*, *Cerithium hormidulum*, *Murex trunculus*, *Tapes elongatus*, *Lauripes lucineus*, *Neverita josephina* and *Solen marginatus*).

Along the latitude 34°30'N, passing through Maharès, Ben Othman (1973) found the following bionomic characteristics.

On bottoms between 16 and 18m depth, the rayed pearl oyster *Pinctada radiata* is very abundant. Also found there, though less abundant, are *Cerithium vulgatum*, *Paracentrotus lividus* and *Holothuria tubulosa* (sea cucumber). On shoals at a depth of 5m, there are *Holothuria tubulosa* and *Pagurestes oculatus*, but no rayed pearl oysters. At greater depths, from 21 to 40m, *Pinctada radiata* was again found, but below 25m depth it becomes scarcer and is eventually replaced, below 40m depth, by *Ophiomyxa pentagona* which is also present at the 5m depth. This ophiuran is taken abundantly down to 68m depth but becomes rarer below this depth and disappears at a depth of 75m. Below this depth, *Dorocidaris papillata* can be found, in particular, down to a depth of 104m.

The commercially important invertebrates found in the area are shrimps, cuttlefish, octopus, clams and sponges.

Caramote prawn (*Penæus kerathurus*)

This shrimp is found all over the sea bed off the coast of the Sfax governorate, from the lower limits of the cymodocean sea-grass beds (farmed by the kiss - a mini trawl - along the coast north of Sfax) to the Kerkennah shoals at depths of 52m. The areas of highest density of royal shrimp are the buoys and the trenches of Skhira and Chaffar. Royal shrimp are abundant off Thyna.

In the northern part of the study area, the hourly catch rates for shrimp taken in experimental trawling in 1987 and 1988 ranged from 12.5 to 17kg: 18.8kg at sidi Hmed (depth 25m); 12.5kg in the buoy zone (depth 29m); 13.3kg at Thyna (depth 15m); and 27kg at wadi El Gzez (depth 12-19m).

Shrimp size increases with depth; the shrimp landed by the coastal fishing vessels using the "kiss" on the sea-grass beds are of small size.

It should be noted that the level of exploitation of this species is not such as to cause concern as it does in the finfish fisheries (Ben Mariem and Gharbi, 1988).

Sponges

Commercial sponges are found exclusively in the eastern part of Tunisia, from Mahdia to the Libyan border on bottoms formed of more or less silty coarse-grained sand covered with zosteran and posidonian sea-grass beds (LeDanois, 1925; Gruvel, 1926). Southern Tunisia was the leading producer of commercial sponges until 1985. There was a large production (150-180 tons) at the end of the nineteenth century and the beginning of the twentieth century, but the fishery is now suffering from overexploitation and sponge disease; only 16 tons were produced in 1993.

Molluscs

The carpetshell clam *Ruditapes decussatus* lives on sandy, silty sand and gravel, or compacted silt bottoms in the meso- and infralittoral zone and coastal lagoons; it is a pollution-indicator species. It is very abundant on the strands of Sfax and is fished with a "focille" (a long-handled type of rake) at Ellouza, El Awabed, Sidi Mansour, near the old NPK factory (next to the phosphogypsum tips), near the port of Sfax, and near the salt beds of Sfax and Gargour.

The Gulf of Gabès is known for its wealth of cephalopods. The octopus and the cuttlefish, both strictly coastal, are the best represented (Najai, 1983). The octopus fishing season runs from 1 November to 15 May.

Marine vertebrates

About 270 species of fish have been found in Tunisian waters, with 230 species on the northern side and 210 species on the southern side.

The marine mammals observed in the south are the common porpoise *Balaenoptera physalus*, the humpback whale *Megaptera novaeangliae*, and, among the dolphins, notably *Tursiops truncatus* and *Stenella coeruleoalba*. The latter compete with the fishermen, tearing their nets and eating the catch. A mechanical sound generator has been developed by INSTOP to drive the dolphins away from the area of fishing.

Marine turtles, which are endangered species, are found in the Gulf of Gabès. The commonest is the loggerhead turtle *Caretta caretta* (around 10,000 captures/recaptures per year; Bradai, 1995); the leatherback turtle *Dermochelys coriacea* is sighted three or four times a year, and the green turtle *Chelonia mydas* is only rarely sighted. These turtles are protected by international convention and by national legislation.

The study area, and principally the humid zone of Thyna, is a nesting area for numerous marine bird species (the slender-billed gull, *Larus genei*; avocet, *Recurvirostra avosetta*; little tern, *Sterna albifrons*; gull-billed tern, *Sterna (Gelochelidon) nilotica*; common tern (*Sterna hirundo*); Kentish plover, *Charadrius alexandrinus*; black-winged stilt, *Himantopus himantopus*; little egret, *Egretta garzetta*; shelduck, *Tadorna tadorna*; redshank, *Tringa totanus*, etc.). In May 1994, 3,600 nesting couples were observed. The number of birds observed at Thyna is growing steadily, from 5,000 individuals in the spring of 1976 to nearly 15,000 in the spring of 1992 and to 42,000 in the winter of 1994 (APNES, 1994).

Floral and faunal changes in the study area

The Mediterranean is characterized by a large specific diversity (at the species level as for higher taxonomic levels), but also by a comparative poverty in number and biomass. The Mediterranean underwent major faunistic changes at the end of the nineteenth century and the beginning of the twentieth century, following a number of morphological, ecological and physico-chemical disturbances (opening of the Suez Canal, domestication of river water, overfishing, pollution, maritime activity and coastal development).

The Gulf of Gabès and the Sfax coastal area suffered the consequences of all these disturbances, and faunal changes have ensued.

Since the opening of the Suez canal, several Indo-Pacific species have been observed in the Gulf of Gabès. Since 1882, thirteen years after the opening of the Canal, the bivalve *Pinctada radiata* had invaded the Gulf of Gabès where it has since become well adapted. The same is true for the fish *Stephanolepis diaspro*. The spinefoot fishes *Siganus rivulatus* and *S. luridus* have been observed in the Gulf of Gabès since 1974 (Ktari and Ktari, 1974). The latter of these two species has been frequently observed, including a mature specimen (Bradai *et al.*, 1994). The crustacean *Alpheus crassimanus* has been observed in the Sfax region since 1956 (Forest and Guinot, 1956). The crab *Eucrater crenata* has immigrated into the Gulf of Gabès only recently, probably around 1985 (Zaouali, 1992); and more recently still, a new lessepsian shrimp, *Trachypenæus curvirostris* (Zaouali, 1993).

The tetradontid fish *Spheroides cutaneus* has been observed off Sfax. The species is considered to be typical of tropical and subtropical fauna, essentially from the west coast of Africa; its geographical distribution has been increasing, extending to other areas, including the Mediterranean and then Gulf of Gabès (Bradai *et al.*, 1993).

This adaptation has, for certain species (notably the crab *Eucrater crenata* and the shrimp *Trachypenæus curvirostris*), been partially favoured by the increased silting of the Gulf of Gabès. This silting has also favoured the expansion of certain autochthonous (native) species, such as the royal shrimp *Penæus kerathurus*, the bivalve *Aloides gibba* and the green alga *Caulerpa prolifera*. For other species, such as the fish *Spheroides cutaneus*, the general warming probably explains this immigration.

Caulerpa racemosa is also expanding off Sfax (Hamza *et al.*, 1995); it is a tropical species that has been found in Tunisian waters since 1926 (Hamel, 1926).

2.5. Managed ecosystem

2.5.1. Agriculture

Besides the secondary and tertiary sectors, Sfax is also considered to be important in the primary sector: agriculture. Reference has already been made, justifiably, to the Sfax olive plantations compared with those in the rest of the country, in respect of the number of trees and of the production of olive oil. To confront the population growth in the area, the government has continually promoted agriculture to meet the needs of this population. Nevertheless, the climatic characteristics of the region, and particularly the annual rainfall, impose a diversity on the systems of production; that in dry soil and that in irrigated soil constitute the main agricultural activity in the study area.

2.5.1.1 Dry agriculture

This is the commonest system in the study area (plates 4 and 5, pages 310 and 311). It comprises mainly oil production. The commonest variety of olive is the *Chemlali*. Most of the plantations are located on light soil or isohumic, subtropical, crusty brown soil, which is a pedological formation well represented geographically in the area. Besides oil production, efforts are made to grow fruit. The almond remains the most abundant species in the Sfax neighbourhood; the most characteristic varieties are *Achak* and *Zahaf*.

The apricot is also a common species in the region, the main varieties being *Bedri*, *Fourati* and *Mesimani*, which are well adapted to the edaphoclimatic conditions of the area.

The enclosure hedges protecting the gardens of greater Sfax consist of a cactus, Barbary Fig, *Opuntia ficus-indica*, a species well known for its tolerance of drought.

Other fruit species grown in the area are of less importance; they are: fig, grape, peach, pomegranate, pear, apple, which are common in the orchards of Sfax.

Although all these species are cultivated, they are notable for a certain genotypic plasticity which would enable them to adapt to a climate change in which the temperature increase is slight; their annual requirements with respect to cold weather are less demanding than those of the varieties established in the north of the country.

2.5.1.2. Irrigated agriculture

Besides the dry agriculture, there are several areas of irrigated agriculture, particularly in the south-western part. These areas are relatively small (a few hectares) and are associated with surface water wells. The main products are leafy vegetables, potatoes, onions, bell peppers, cucumbers etc., and forage crops (as green barley, oats, sorghum). Greenhouse horticulture is also developing in the area to supply the market for fresh products in the city.

Unlike the other forms of agriculture, greenhouse horticulture, although irrigated, is sensitive to temperature changes; this sensitivity is proportional to the size of the temperature increase, so there is a measurable drop in productivity if the temperature difference exceeds 2.5°C.

2.5.2. Fisheries

2.5.2.1. Introduction

The governorate of Sfax occupies a strategic position in the marine fishery sector in Tunisia, contributing some 30% of the total national marine fishery production.

The ease of access to the fishing areas (wide continental shelf with a weak slope and without rocky outcrops), the abundance of crustaceans (royal shrimp) and cephalopods (octopus and cuttlefish), which are high-value species for export, and the level of port facilities ensure that this area is the most frequented by Tunisian marine fishing vessels.

The clandestine incursion of trawlers in the zone reserved for coastal fishing (depths less than 50m) prejudices the latter and causes damage to the marine environment. However, other types of fishing gear, notably minitrawls commonly known as "kiss", used on sea-grass beds also cause considerable environmental damage to the flora and fauna, thus contributing to the collapse of the marine fish stocks currently observed in the Gulf of Gabès.

The fisheries of the Gulf of Gabès are considered to be anarchic (use of destructive fishing methods, disregard of regulatory mesh size and fishing zone restrictions, and an irrational increase in fishing effort).

To these fishery problems may be added the effects of pollution which are alarming. The main problem lies in the discharge of phosphogypsum (more than 60 million tons have been discharged since 1972).

A study of the fisheries in the Sfax area necessarily involves study of the whole of the Gulf of Gabès. There are all sorts of interactions between the various ports. The Sfax governorate occupies a strategic position in this maritime "entity" because of its port facilities and onshore infrastructure.

2.5.2.2. Production

The national production of sea food reached 83,779 tonnes in 1993, compared with 88,551 tonnes in 1992, a drop of 5.38%. Moreover, the decreasing trend dates from 1988 (102,574 tonnes).

The three principal types of fishery are the coastal fishery, nightlight and small-seine fishery, and bottom-trawl fishery (Table 15). The three types represent 43.1%, 31.2% and 20.6% of the national catch, respectively.

Coastal fishery comprises mainly fishing by nets, hooks and traps.

Table 15. Marine fishery production by type of fishery in 1993 (DGPA)

Types of fishery	Production (tonnes)
Coastal fishery	36,071
Bottom trawling	17,272
Pelagic trawling	505
Lights and small seines	25,283
Lake fisheries and aquaculture	1579
Shellfish	1742
Tunas	1310
Sponges	16
Corals	1
Total	83,779

Most of the catch, about 60% of the total, is landed in the fishing ports in the south-east of the country, in the Gulf of Gabès, broadly speaking (Table 16). Most of the high-quality species, destined for export, come from the Gulf of Gabès (95.5% of all the shrimps, 89% of the cephalopods, 66% of the tunas, and 97% of the sponges). About 51% of the Gulf of Gabès production comes from the Sfax area (Table 16).

Among the principal species taken along the Sfax coast and destined for export are shrimps, of which 1751 tonnes (out of a national total of 2875 tonnes), octopuses (2714 tonnes out of a total of 4610 tonnes) and cuttlefish (5771 tonnes out of a total of 8149 tonnes).

Table 16. Production (in tonnes) by marine inspectorate in 1994

Inspectorate	Production	Inspectorate	Production
Jendouba	1 227	Monastir	3 556
Bizerta	5 788	Mahdia	14 307
Tunis	1 414	Sfax	24 673
Nabeul	8 793	Gabès	10 676
Sousse	5 365	Medenine	12 752

The distribution of the marine fishery production in the Sfax region is given in Table 17.

Table 17. Fishery production in the Sfax inspectorate

Designation	1992		1993	
	Quantity (kg)	Value (dinars)	Quantity (kg)	Value (dinars)
Coastal fishery, by port:				
Sfax	4,608,156	10,931,478	3,086,481	6,453,921
Kerkennah	2,054,574	5,166,043	1,165,754	2,313,672
Eilouza	3,136,851	7,447,183	2,681,528	5,203,306
El Awabed	708,168	1,261,713	1,130,264	2,176,722
Sidi Mansour	1,002,165	2,223,863	1,063,296	1,627,447
Maharès	3,048,703	5,308,852	2,712,487	5,060,243
Skhira	1,534,540	5,481,381	1,548,639	4,285,769
Trawl fishery	7,546,500	19,881,401	8,890,679	22,521,135
Light and small-seine fishery	28,750	10,063	1,795,498	1,861,592
Clams	642,110	1,376,627	632,488	1,303,643
Tunas	354,018	772,133	316,056	1,140,925
Sponges	8,900	581,500	10,210	495,800
Total	24,673,035	60,449,237	25,033,380	54,444,175

2.5.2.3. Fishing fleet

In 1993, Tunisia's active fishing fleet comprised 14,851 vessels, of which, 9,150, or 63%, had their home port in the Gulf of Gabès. Of these, the trawlers represent 60,8% of the national trawler fleet.

The distribution of the fleet by type of vessel and by marine inspectorate is given in Table 18.

Motorized coastal vessels, general from 30 to 45 HP engines, used nearly all the types of fishing gear possible: all kinds of nets, hooks, small seines, traps, octopus pots and mini-trawls ("kiss"). It is not, therefore, feasible to classify these vessels in terms of gear type, since the fishermen may change gear type from one day to the next of fishing area, likewise.

Sailing vessels, with a smaller radius of action, work with the same gears, except small encircling seines.

The fishery in the Gulf of Gabès comprises, broadly speaking, two main seasons: one for octopus (*Octopus vulgaris*) and one for the caramote prawn (*Penæus kerathurus*) known as royal shrimp.

The octopus season extends, officially, from 15 October to the end of May. The gear used is a pot (or "gargoulette"); 2000 to 3000 units are, as a rule, deployed by each coastal fishing vessel. From February till the end of May, the trammel net is used.

The shrimp (caramote prawn) season usually runs from April to July, for the coastal vessels, and from the beginning of November till the end of January, for the trawlers, which work in depths of 30m or more. Outside this season, trawling is forbidden at depths greater than 50m.

Table 18. Distribution of the fleet by type of vessel and by marine inspectorate

Inspectorate	MCV	NMCV	Trawlers	Sardine fishing vessels	Tuna fishing vessels
Jendouba	45	76	11	4	0
Bizerta	533	626	35	20	0
Tunis	151	155	12	0	0
Nabeul	231	146	16	57	0
Sousse	153	88	9	1	1
Monastir	561	634	17	33	1
Mahdia	597	1120	60	103	5
Sfax (by port):					
Sfax	448	685	257	0	28
Kerkennah	528	2109	0	0	0
Maharès	90	160	0	0	0
Ellouza	402	742	0	0	0
Sidi Mansour	121	265	0	0	0
Skhira	81	95	0	0	0
Gabès	221	169	0	107	24
Medenine	956	1628	6	22	6
Others		54			
TOTAL	5 118	8 733	423	347	65

MCV: motorized coastal vessels. NMCV: non-motorized coastal vessels

2.5.2.4. State of exploitation of the marine resources

Three coastal inspectorates border the Gulf of Gabès: Sfax, Gabès and Medenine. There are seven ports in the Sfax region: Ellouza, Sidi Mansour, Sfax, Maharès, Skhira, Kratten and El Attaya; an eighth, El Awabed, is under construction.

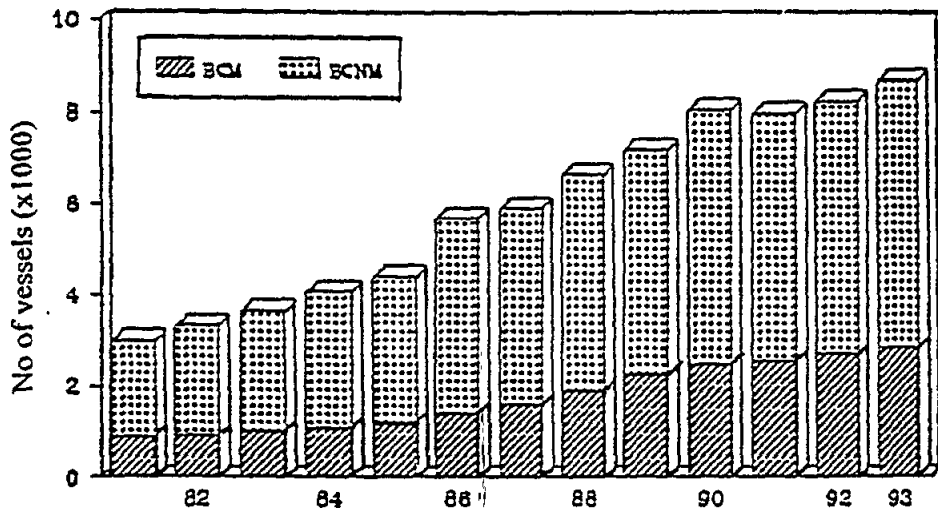
Besides these main ports, there are several other fish-landing points along the coast. In the zone under study, from Sfax to Thyna, four minor unloading points have been located.

The fishery production in the Gulf of Gabès, which was increasing up to 1988, started to decline thereafter in spite of the increase in the fishing effort (Figure 32). In effect, the fishing fleet, the backbone of the fishing effort, has shown prodigious growth and has become more and more highly powered (Figure 32).

Nevertheless, the trawlers continue to fish in shallow waters in a search for export species as well as for further investment.

Demersal population dynamics studies in the Gulf of Gabès, with respect not only to trawlers but also the small fishing gears, show that the exploitable benthic fish stock is being overfished (Ghorbel, *in* Bradai and Bouain, 1994). It is clear that there is a need to reduce fishing effort by limiting the number of fishing vessels and by encouraging them to fish in relatively under-exploited areas.

GULF OF GABES
1981-1993



BCM: Motorized coastal vessels

BCNM: Non-motorized coastal vessels

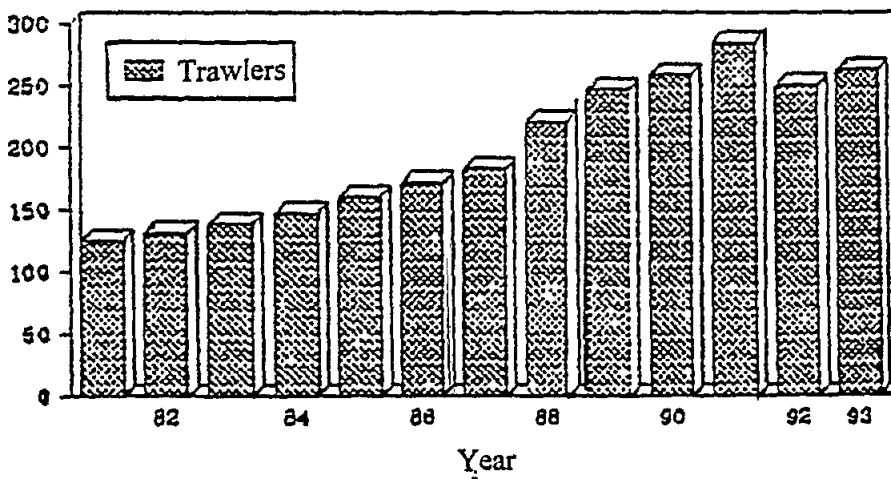


Figure 32. Increase in the number of coastal fishing vessels (Gulf of Gabès: 1981-1993)

The fishing fleet operating in the Gulf of Gabès is very heterogeneous; the coastal fleet includes rowing boats, sailing boats, and motor boats of a wide range of length and power. The power of the trawlers varies from 1.5HP to 1300HP. Moreover, fishing by hand, especially for shellfish, is of considerable importance.

Even so, the components of this very heterogeneous fleet operate mostly in the same fishing areas. The fishing methods are also very diversified, and one vessel may use various fishing methods.

This large number of fishing gears, which are not very selective and operate in the same areas, catch several species at the same time, so that the list of species captured tends to be the same for different types of gear. Trawls and trammel nets catch about twenty species. Practically, only the octopus pots are species-specific.

The main species taken are: caramote prawn (*Penæus kerathurus*), common octopus (*Octopus vulgaris*), the cuttlefish (*Sepia officinalis*), the striped red mullet (*Mullus surmuletus*), the red mullet (*Mullus barbatus*), annular seabream (*Diplodus annularis*), European hake (*Merluccius merluccius*), smoothhound (*Mustelus mustelus*), grey triggerfish (*Balistes carolinensis*), salema (*Sarpa salpa*), picarels (*Spicara* spp.) and jack mackerels.

2.5.2.5. Maritime population

There were about 20,000 fishermen in the Sfax inspectorate in 1993, of which 74% were coastal fishermen, 16% were trawlermen and the remainder, tuna fishermen and clam fishermen (1500). The known clamming sites in the Sfax region are: Sidi Mansour, the port of Sfax, Thyna, Gargour, Oued Maltine (Oungha) and the Keis and Kerkennah islands.

This maritime population in the Sfax region represents about 33% of the national total, estimated at 60,500 fishermen (DGPA, 1993).

2.5.2.6. Exportation of fishery products

There are about twenty freezer and packing plants engaged in the export of fishery products in the Sfax area. The exports are mainly of cephalopods and frozen shrimps.

In 1992, 8,080 tonnes of fish products were exported, representing about 33% of the local production and 67% of the national exports. The amounts of each category of fish/shellfish are given in Table 19.

Table 19. Exports from Tunisia and from Sfax for each category of fish/shellfish

Category of product	Sfax (amount in tonnes)	All Tunisia	
		Amount (in tonnes)	Value (in dinars)
Fish	259	1,649	16,034
Crustaceans	1,503	2,004	22,628
Cephalopods	5,724	6,961	20,115
Shellfish	583	963	4,792
Miscellaneous	13	415	2,785
Total	8,080	11,992	66,354

2.5.3. Aquaculture

Aquaculture is still only a minor part of the fishery, from the economic standpoint. It has, nevertheless, developed considerably over the last decade. Three important fish farms have been set up in the Gulf of Gabès region, although none is in the area under study.

2.5.4. Forestry

The Sfax area is known for its poverty in respect of forest plantations, owing mainly to the strong development of agriculture. In the area under study, there are several strip forests in the vicinity of the Sfax urban centre and on either side of the roads leading to Sfax. The forest plantation at Thyna can be considered to be the most important one in the area. *Eucalyptus* and *Acacia cyanophylla* are the two species most used for these forest plantations. *Atriplex halimus* is also used for amenity purposes and to improve the alimentary quality of the rangelands in the southern part of the area (Chaffar Nakta). *Ficus nitida* is used to line the streets of Sfax; it is notable for its resistance to drought and pollution.

2.5.5. Pollution

The littoral ecosystems are among the most vulnerable in Tunisia. The main cause of coastal ecosystem degradation in the Sfax area is the large industrial-waste discharges, not only from the major chemical fertiliser industry, but also from small and medium-sized industries. Sfax has become the second biggest industrial area after Tunis, with many installations in the littoral zone but also throughout the urban area. Alongside these major and minor industrial installations are the commercial port and the country's main fishing port, with its subsidiary activities, and a diesel thermo-electric plant. The chemical fertiliser plants are a source of major environmental insult to the marine environment, in the form of fall-out of airborne, liquid and solid discharges.

One of the chemical factories, situated near the centre of Sfax, was closed by the Government in 1988. The second most important one is to the south of the city; its atmospheric discharges, although cleansed of sulphur dioxide gas, still contain high levels of fluorine. The phosphogypsum rock is stored next to the plant; the accumulated amounts are impressive. The problem due to the small and medium industries is giving cause for serious concern: discharges are generally made into open drainage canals dug into the earth. The fish-packing plants have pre-treatment equipment and are connected to the municipal sewer network and to the water-treatment plant.

2.6. Energy and industry

2.6.1. Energy

This covers mainly petroleum production, natural gas, electricity and petrol consumption.

Petroleum production

This comes from the oil fields of Ashtart, Sidi El Itayem, Gremda, Maharès, El Aïn and Rhémoura.

The petroleum production in the Sfax area is about 1.4 million tonnes, about a third of the national production.

Industry preceded oil drilling (energy) in Sfax. Greater Sfax has 2230 small and medium industrial units concentrated initially in semi-developed coastal areas but now, more and more, to be found in residential areas, some of which still lack infrastructure (Table 20).

Table 20. Oil production (in tonnes) in the Sfax region

Year	Sfax region				Tunisia as a whole
	Ashtart	Sidi El Itayem	Others	Total	
1990	1,307,000	119,000	174,000	1,600,000	4,511,000
1993	1,069,974	109,186	214,908	1,394,068	4,641,173

Sources: - Revue tunisienne de l'énergie, No. 29. 1993
 - Etat de la production mensuelle d'huile en 1993. SEREPT. 1994

Natural gas

Offshore production is growing; this new energy source opens up promising development perspectives for the Sfax economy.

In the short and medium term, this natural gas will provide energy to the industrial zones of Gabès and to the touristic zone of Sousse. In the long term, the densely populated part of Sfax could be connected so as to meet domestic requirements (98% of the city-dwelling families now use bottled gas as an energy source; ENPE, 1989).

In the very long term, the presently known resources will run out; in the absence of new discoveries, Tunisia will have to look to alternative energy resources.

Electricity

The production and distribution of electricity in Tunisia is the monopoly of the public company STEG (Société Tunisienne d'Electricité et de Gaz). The electricity consumption of the Greater Sfax area, between 1987 and 1994, rose from 251GWh (gigawatt-hours), for 124,000 subscribers, to 416GWh, for 179,000 subscribers; this is an increase of about 7.5% per year. Of this consumption, 57% went to industry and 43% to households. At present, practically all habitations (98%; RGPH, 1984) in the Greater Sfax area are supplied with electricity.

In the very long term, electricity consumption of Greater Sfax will continue to grow at an annual rate of 7.5% and will be about 5000GWh in the year 2030. Energy after 2030 could very well come from new sources (nuclear energy, among others).

Petrol consumption

For travel in the Greater Sfax area, according to a 1984 household survey (IRT-SORETRAS-GES), consumption was 167GPE (grams petrol equivalents) per person over the age of six; that is, 15,000 tonnes at present (a growth rate of 7% per year, given the rates of increase in the number of vehicles and in the frequency/distance of travel).

The much increased use of private cars will certainly ensure a sustained increase in petrol consumption.

2.6.2. Industry

Sfax, which was once only an agricultural and commercial city, started to become industrialised in the 1950s (phosphate chemicals) and moved into manufacturing industry in the 1970s, thanks to private investment. Manufacturing industry now employs a quarter of the active population in the Sfax governorate (compared to 19% for Tunisia as a whole; ENPE, 1989).

These industries are located mainly in the coastal industrial zones of Sfax (Poudrière, 104ha; Madagascar, 23ha; El Maou Nord, 180ha; El Maou Sud, 80ha) (Figure 33).

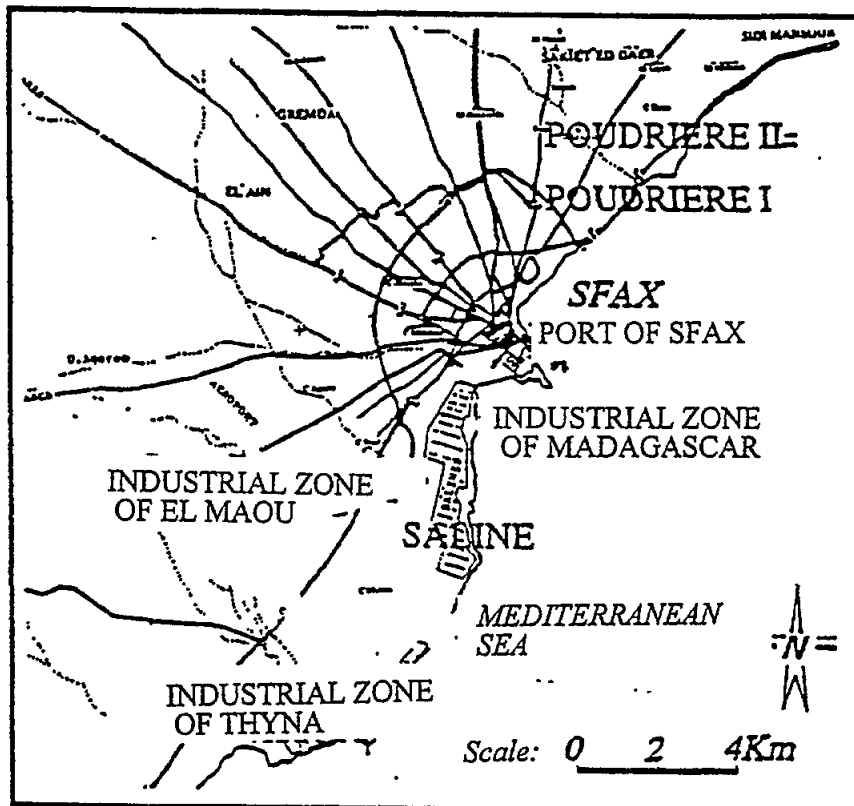


Figure 33. The industrial zones of Sfax

During 1973-1988, the Sfax industrial base was broadened by the establishment of 1873 new units through an investment of 173 million dinars, providing 22,000 jobs. The main fields of activity were agricultural and food industries (25% of the investments, 16% of the jobs created) and the clothing materials and leather industries (25% of the investments and of the jobs created) (Table 21).

Table 21. Manufacturing industries: projects carried out in Greater Sfax, 1973-1988

Type of industry	Sfax urban area			Sfax governorate		
	NP	I	J	NP	I	J
MI	382	29,096	3,137	414	38,252	3,563
AFI	257	42,232	3,571	307	45,685	3,963
CMICG	68	9,164	958	112	21,567	1,691
MEI	292	32,263	2,727	316	34,567	2,898
CRI	119	24,661	1,116	135	166,315	1,606
CTLI	755	35,823	10,767	777	38,539	11,279
Total	1,873	173,194	22,276	2,061	344,925	25,000

Sources: - Agence de Promotion des Investissements
- Agence de Sfax "Etat des Projets"

NP Number of projects
I Investments in thousands of dinars
J Industrial jobs in Sfax, August 1990
MI Miscellaneous industries
AFI Agricultural and food industries
CMICG Construction material industries; ceramics and glass
MEI Mechanical and electrical industries
CRI Chemical and rubber industries
CTLI Clothing textile and leather industries

These manufacturing industries have thus allowed the creation of 1,666 new jobs per year in the Sfax governorate, 90% of which are in the Sfax urban area. This evolution continued during the VIIIth Economic and Social Development Plan (1987-1991) and during the first three years of the VIIIth Plan (Table 22).

Table 22. The manufacturing industries: investments and job creation in the Sfax governorate, 1987-1994

Type of industry	Investment		Jobs created	
	Amount	%	Amount	%
MI	76,035	26.3	4,524	16.1
AFI	22,064	7.6	1,255	4.5
CMICG	42,097	14.6	2,827	10.1
MEI	30,307	10.5	1,116	4.0
CRI	81,001	28.1	15,761	56.1
GTLI	37,104	12.9	2,582	9.2
Total	288,608	100.0	28,065	100.0

Sources: - VIII Plan de Développement Economique et Social (1992-1996) - Rapport de la Commission régionale de Sfax (June 1991). Rapport de suivi du développement du gouvernorat de Sfax. Année 1994
- cellule de planification régionale de Sfax, Avril 1994.

The non-manufacturing industries, as public initiatives, during the VIth Plan, mobilised an envelope of 52 million dinars (regional commission of the Plan 1991) representing 42% of overall investment and 7% of the overall investment in the Sfax governorate under the VIIth Plan. These industries are mainly involved in the processing of phosphates (Siape I and II units).

This industrial development has engendered a progressive degradation of the environment, especially that of the Sfax coastal area which is already heavily affected by other causes of ecological constraint directly affecting the Mediterranean (three huge phosphogypsum dumps, a gigantic municipal discharge area, vast drying beds for sub-products of the Sfax oil processors, and the uncontrolled discharges of industrial plants etc.).

It is difficult to grasp the long-term evolution in this field; here, endogenous as well as exogenous variables (as globalisation of the economy, technological development, behaviour of producers and consumers) are not only important but also determinant.

2.7. Tourism

The Sfax region, except the Kerkennah islands, holds few tourist attractions in terms of landscape and natural beauty. For this reason, it has not been able to develop its hotel infrastructure (Table 23).

Tourism is only a marginal sector of Sfax's economy; it only represents 2% of the national touristic activity (1.3% in terms of number of hotels; 2.1% in terms of number of beds).

Nevertheless, Sfax has a Medina that still maintains its specific character (ramparts, souk/market, mosque etc), its urban liveliness (as a link between the present downtown of Bab el Bhar and the new centre of Sfax at Jedida, and its power of attraction as a commercial and artisanal centre). Moreover, the location of Sfax between the main tourist centres to the north (Sousse-Monastir) and south (Jerba-Zarzis) make it a convenient place of stopover. Sfax's industrial dynamism and its university development confer on it a vocation for commercial and cultural tourism.

Table 23. Hotel capacity and overnight occupation of hotel rooms in Sfax

	1987		1990		1993		1993 Capacity	
	Nights*	Percent occupied	Nights*	Percent occupied	Nights*	Percent occupied	No. units	No. beds
Sfax	135	26.8	230	39.5	233	33.6	23	1,891
Kerkennah	87	30.9	101	35.0	61	28.1	7	1,137
TOTAL	222	28.3	331	37.2	294	32.3	30	3,028
Tunisia as a whole	17,516	58.8	18,841	54.0	22,120	-	574	144,008

* Number of nights, in thousands, spent by non-residents

Sources: - Annuaire statistique de la Tunisie (INS, No.36, 1994)
- L'Economie de la Tunisie en chiffres (INS, No. 31, 1994)

This said, touristic development here derives largely from the strengthening of airport infrastructure, on the one hand, and from the development and exploitation of present potential (Kerkennah islands) and future potential (Taparura-Chaffar).

Local tourism in Sfax is very low; since 1978, the city has lost its beaches (condemned by industry) and they can only be rehabilitated through an overall pollution clean-up campaign that is counted on under the Taparura project which has the objective, among others, of creating 5km of beach.

2.8. Transport and services

As the second most important centre of the national economy, Sfax has well a developed transportation infrastructure with associated services (customs, freight-handling and forwarding, insurance etc.) which contribute to stimulating growth and opening up the city. If it owes its economic development to its port (the country's main port in terms of tonnage moved), its weakness springs from the lack of development in its airport infrastructure. It has, moreover, a still poorly developed road infrastructure relative to its population size, its role in the economy, and its urban dimension, especially as regards its central and pericentral areas.

Maritime transportation

The port of Sfax has three basins with an area of 57ha and 3054m of wharfs serving 38ha of open space; it services 1600 vessels per year (compared with 5500 for all Tunisian ports: Tunis-Goulette, Sousse, Bizerta, Zarzis and Sfax) and moves 4.9 million tonnes of merchandise (import and export, compared with 16.2 million tonnes for all Tunisian ports). The Sfax port activity is summarised in Table 24.

Table 24. Sfax port activity

	1987		1990		1993	
	Sfax	All ports	Sfax	All ports	Sfax	All ports
Number of vessels entering	1,541	4,816	1,392	5,124	1,560	5,520
Gross tonnage of vessels entering	4,793	20,697	4,536	23,160	5,040	28,656
Merchandise unloaded (1000t)	1,817	7,425	2,152	10,006	2,184	10,178
Merchandise loaded (1000t)	2,555	6,277	1,724	5,982	2,108	6,005

Sources: - Bulletins mensuels de statistique (INS collection)

The main kinds of merchandise loaded yearly from 1990 to 1992 were:

- phosphate products 1.4 million tonnes
- sea salt 235 thousand tonnes
- olive oil 69 thousand tonnes

The main kinds of merchandise unloaded yearly from 1990 to 1992 were:

- fuels 876 thousand tonnes
- sulphur 566 thousand tonnes
- cereals 224 thousand tonnes.

Coastal shipping to/from the port of Sfax is presently limited, as is passenger ferrying (700 non-resident travellers per year on average); nevertheless, there is an opportunity for the port of Sfax to relieve the strain on the port of Tunis-La Goulette, which moves 55,000 voyagers per year.

Because of its strategic position on the east coast of Tunisia, the port of Sfax will continue, in the long term, to play an important and structuring role in the national economy.

Air transportation

The Sfax airport has international standing, with a landing strip 3000m long and a terminal building with a capacity for 200,000 passengers per year; in 1990, it had a traffic of 45,000 passengers and, in 1993, 81,600 passengers, an increase of 21% per year (compared with 7.5% per year for all Tunisian airports: Tunis-Carthage, Monastir, Skanes, Jerba-Zarzis-Tozeur-Sfax) (Table 25).

Table 25. Development of Sfax airport activity

Year	1990		1993	
	Sfax airport	All airports	Sfax airport	All airports
Number of planes (arrivals and departures)	2,112	50,352	3,564	70,704
Number of arriving passengers	21,600	2,481,600	37,200	3,123,600
Number of departing passengers	21,600	2,539,200	36,000	3,146,400
Number of transit passengers	2,400	118,800	8,400	121,200

Sources: - Bulletins mensuels de statistique (INS collection)

The Sfax airport traffic thus represents only 1% of the national air-passenger traffic. This situation belies the rank, size and role of Sfax as Tunisia's second economic centre.

The airport is also engaged in freight traffic (mainly sea-food products and clothing). The modest figures of 150 and 124 tonnes for imports in 1993 and 1994, respectively, were attained; the corresponding export figures were 73 and 142 tonnes.

The opening-up of the regional economy, hence of the national economy, requires a reinforcement of the Sfax airport activity through, for example, the opening-up of new international routes connecting Sfax directly with the rest of the world.

Rail transportation

This is a monopoly of the Société Nationale des Chemins de Fer Tunisiens (SNCF); rail transport in the governorate of Sfax has available to it 272km of track serving 54 trains (in and out of the Sfax railway station, of which 20 are for passengers).

The number of departing passengers from the Sfax station was 602,000 in 1990, compared with 576,000 in 1993. This slight drop was mainly due to the competition between road and rail (the entry into service of the second section of the Sousse-Tunis motorway which saves passengers between Sfax and Tunis 25% of the travel time). Sfax station had 521,000 arriving passengers in 1993.

The station also handles merchandise:

- phosphates: 4,945,000 tonnes in 1990 and 5,769,000 tonnes in 1993
- miscellaneous merchandise:
 - *outgoing*: 1,250,000 tonnes in 1990, 1,344,000 tonnes in 1993
 - *incoming*: 1,308,000 tonnes in 1990, 1,446,000 tonnes in 1993

The development of Sfax, as that of Tunisia, cannot do without this form of transport, whether for passengers or for merchandise. It is therefore necessary to rethink a strategy for doubling the amount of track between Sfax and Tunis and its eventual conversion from metric to standard gauge.

Urban transport in Greater Sfax

Greater Sfax covers an area of about 20,000ha for a population some 400,000 inhabitants, in 1994; this is a low urban density, of 20 inhabitants per hectare (an average of four habitations per hectare). The number of urban trips within Greater Sfax was 384,000 in 1984, and 482,000 in 1989, a mean increase of 4.7% per year (Table 26).

Table 26. Modal distribution of urban trips within Greater Sfax

Mode of travel	1984*		1989**	
	Number of trips	%	Number of trips	%
Private car	80,000	20.9	168,100	34.9
Bicycles, motorbicycles	138,000	35.9	167,200	34.7
Public transport	166,000	43.2	146,700	30.4
TOTAL	384,000	100.0	482,000	100.0

- Sources - * Enquête ménages (household survey) IRT-SORETRAS-GES, Avril 1985
 - ** SIDES-ETAU-BECEOM Plan directeur des transports du Grand Sfax: Rapport de synthèse 1993

The modal distribution of these trips is almost equally divided between the use of private cars, two-wheeled vehicles and public transport, with some increasing tendency to use private cars (an average annual increase of 16% from 1984 to 1989) at the expense of public transport (decrease of 2.5% per year over the same period).

The breakdown by household in respect of mode of transport reveals the importance of two-wheeled vehicles in Sfax:

- 43% of all households own at least one two-wheeled vehicle (Sfax is on flat land, the climate is favourable and there is a substantial middle class);
- 15% percent of all households own at least one private car.

Sfax's public transport is provided by the Société Régionale des Transports du Gouvernorat de Sfax (SORETRAS) which operates an urban network of 411km for 20 bus lines (1118 bus stops, return trip, in 1990) and a fleet of 181 buses (including 104 articulated), with a capacity of 28,280 passengers and 45 million passenger-trips in 1990; this was an increase of 2.9% per year between 1987 and 1990.

The inter-city vehicles provided by SORETRAS service 114 bus lines, of which 93 are within the Sfax governorate, covering 17,354km.

The Société de Transport National et International de Marchandises (SOTRANIM) of Sfax assured the transportation of 1,125,000 tonnes of merchandise (annual average for 1988-1991).

The radioconcentric configuration of Sfax, the low urban-population density, the increasing average trip length and the excessive growth of the downtown area do not, in spite of Sfax's demographic importance, justify the development of a heavy transport system. For this reason, the spatial planning currently operating (Figure 34) envisages the development of the Sfax urban area along the coast, which would allow a profit-making light railway to be developed. Failure to develop

this mode of transport would ensure the strangulation of the city's main roads owing to mass recourse to private vehicles which, given the narrowness of Sfax's roads, would not resolve its urban transport problems. The evident and potential use of two-wheeled vehicles would also be stifled for lack of adequate infrastructure development

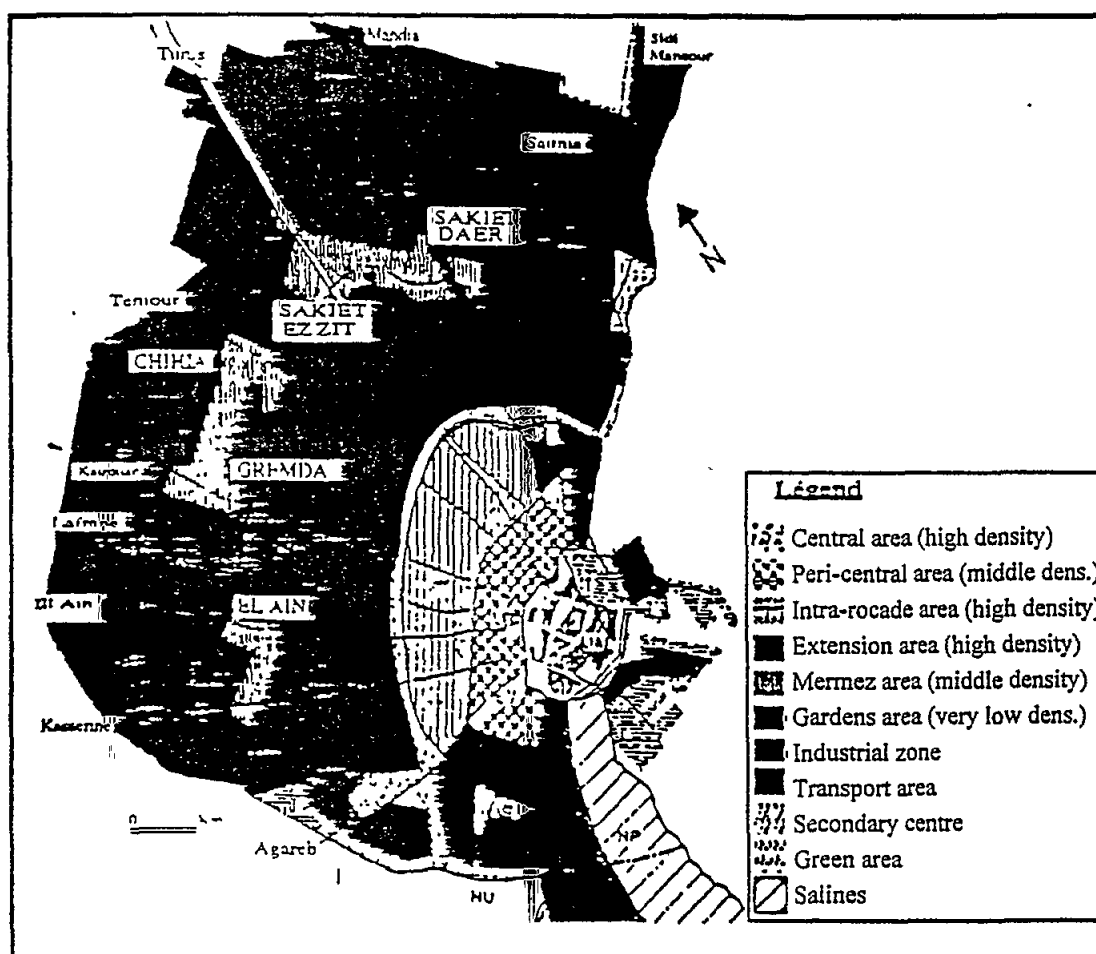


Figure 34 Master plan for Greater Sfax, 1977 (GES, 1981)

2.9. Sanitation and health

Sfax entered a phase of dynamic urban development proper in the 1960s, with the "gnawing away" and the break-up of its gardens which had previously been recreational and productive areas and contained many secondary residences. In time, this led to a horizontal development of the city through the spread of residences that covered 12,000ha in 1980 and which now cover 20,000ha. Most of the city is undergoing functional and landscape change, moving from a merely urban appearance to one that is purely urban. This development, sometimes, in certain parts of the city, poses certain environmental and hygiene constraints and even public health risks.

Sanitation

The housing stock of Greater Sfax in 1984 comprised 69,000 habitations, of which, 78% were connected to the drinking-water supply system (SONEDE) but only 33.7% were connected to the public sewer system. The National Sanitation Office (ONAS) has since increased the number of connections at an average rate of 1500 new connections per year during 1987-1993, and now covers 40% of all habitations (120 000 units).

In spite of this improvement, the low level of connection has led to a continuing pollution of Sfax's ground water, hence to a steady increase in the piezometric level; the habitations not hooked up to the ONAS system discharge their waste water into cess pits; that is, practically directly into the ground water. Since the water table is oriented towards the sea, the sea also becomes polluted. In the face of this increasing pollution, ONAS is undertaking various public works aimed at lowering the water table, especially in the areas where it comes close to the soil surface.

About 93% of habitations are now connected to the SONEDE drinking-water supply network. In 1993, SONEDE supplied nearly 20 million cubic metres of water to its subscribers in Sfax, of which only 8 million cubic metres were treated by the city's water works (Table 27). Some (36%) of this water was re-used for agricultural purposes (forage-growing in the vicinity of Sfax).

The waste-water discharge of most of the industrial units of Sfax, as well as the discharge of the waste water from olive pressing, do not, of course, pass through the city water works. Specific pre-treatment is required of the industries by ONAS; for the olive-oil waste water, drying beds have been constructed by ONAS (40ha handling on average 100,000 tonnes per year from the 200 oil-processing plants in Greater Sfax).

Table 27. Activity of the Sfax waste-water treatment plant

Year	Output (in 10 ⁶ m ³)	Station utilisation capacity (%)	Volume of water re-used (in 10 ³ m ³)	
			Volume	%
1987	5,517	64.9	WDS	0
1990	7,059	83.0	1,544	21.8
1993	7,729	90.9	2,793	36.1

WDS: water discharged into the sea
Source: - ONAS - Sfax district

Rain water used to be retained by the gardens of Sfax which acted as absorption basins through their networks of hedges ("tabias") with their cactus plants on top of them; but since then, until recently, given the rigours and unpredictability of the Mediterranean climate, this rain water poured into run-off channels towards the downtown area of Sfax causing floods that immobilised the city for hours at a time. Now, this water is intercepted by an encircling channel constructed in 1987 and is discharged on either side of the Gremda crestline into the sea. A second channel, based on the former bed of the Wadi Sakiet Ezzit-Sakiet Ed Dair, drains off the water coming from the north-east drainage basin. Wadi Chaâbouni, which takes up the rain water from the western drainage basin, has been the object of reconstruction to protect the city against flood waters (cf. scheme for the protection of Sfax against flooding (MEH, 1983)).

The proliferation of buildings in the former gardens of Sfax, the pollution and the decreasing depth of the water table require the extension of the sanitation network so as to improve the hygiene, hence the public health, of the city.

Health

The urban development of Sfax has been naturally accompanied by a reinforcement of its infrastructure and its superstructure, especially as concerns health. The facilities in this respect are summarised in Table 28.

Nearly all these facilities in the city of Sfax contributed to the creation of the Sfax Medical Faculty in 1975; this Faculty trains an average of 100 doctors each year.

Table 28. Public-health infrastructure in the Sfax governorate, 1994

Facilities and staff	1991	1994
Number of hospitals or polyclinics	10	10
Number of beds	1,211	1,548
Number of basic health centres	107	113
Number of doctors	135	224
Number of dentists	21	17
Number of pharmacists	21	27
Number of nurses and nursing assistants	2,084	2,079

- Sources:
- Annuaire statistique de la Tunisie, Vol. 35, 1992
 - Sfax et la santé. Numéro spécial. DRSP Sfax, November 1994

The data show that there were, in 1994:

- 1 doctor per 3000 inhabitants;
- 1 hospital bed per 500 inhabitants;
- 1 basic health centre per 6500 inhabitants.

The private sector health infrastructure is also strongly concentrated in Sfax; it comprises 8 polyclinics, 270 freelance doctors, 65 dental offices and 110 pharmacists (data for 1991).

Analysis of the distribution of the population of the Sfax governorate shows that the vulnerable groups have evolved as follows:

- the 0-4 year-old population group has declined from 15% in 1975 to 12.5% in 1989;
- the >60 year-old population group has increased from 7% in 1975 to 9% in 1989.

The number of women of child-bearing age (15-49 years of age) increased by 2.7% per year between 1975 and 1989.

In the long term, the aforementioned ratios will show marked improvements, given the effort being put into training and public information, into public health, in particular, and the general improvement in the standard of living. Nevertheless, improvement in the public health of Sfax depends on the reduction of pollution and environmental protection of the city.

2.10. Population and housing

The governorate (the largest administrative division of the country) of Sfax covers 708,600ha and comprises 15 delegations (the largest territorial subdivision of a governorate) with 15 municipalities in 1994 (Figure 35). Its population, at the last census, in April 1994, was 733,687 or 8.3% of the national population (8,785,364 inhabitants) and the number of habitations was 177,123 or 9.5% of the national total (1,868,522).

Population

Population growth in the governorate is summarised in Table 29.

The rate of urbanisation of the Sfax governorate between 1984 and 1994 (from 59% in 1984 to 62% in 1994) has been slower than in the country as a whole (from 53% to 61%).

Table 29. Resident population of the Sfax governorate from 1975 to 1994

	Milieu	1975 census	1984 census	1994 census	Growth rate	
					75-84	84-94
Sfax governorate	Urban	283,668	339,649	454,673	2.0	2.9
	Rural	191,211	238,343	279,014	2.5	2.2
	Total	474,879	577,992	733,687	2.2	2.4
Whole of Tunisia	Urban	2,655,788	3,685,470	5,361,751	3.7	3.8
	Rural	2,932,421	3,289,980	4,423,613	1.3	3.0
	Total	5,588,209	6,975,450	8,785,364	2.5	2.9

Sources: - RGPH, 8 May 1975
 - RGPH, 30 March 1984
 - Preliminary results of RGPH, 1994

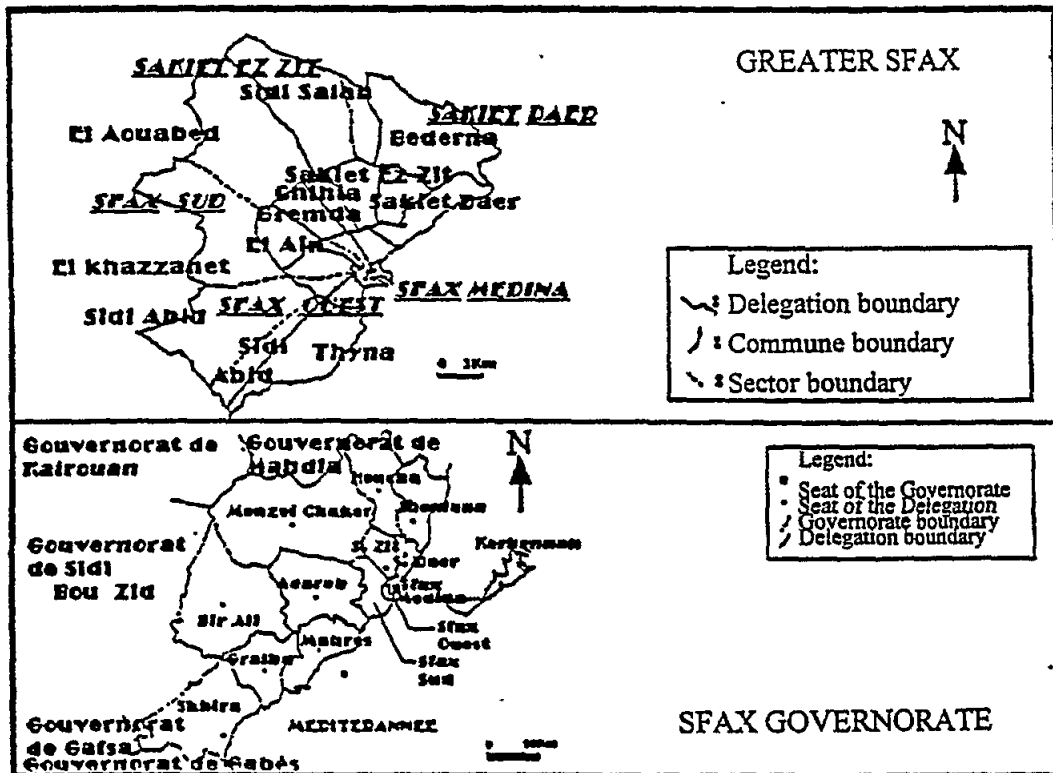


Figure 35. Administrative subdivision of Greater Sfax and of the governorate

This is a young population, in which the 0-15 year age class constitutes about 35% of the whole population of the Sfax governorate. The birth rate, which has declined as a result of family planning, was 2.4% in 1992, while the mortality rate, which has decreased slightly since 1990, was 6.3% in 1992.

Greater Sfax, with an area of 15,300ha (Figure 35) and a population of 395,000 in 1994, represents 58% of the total population of the governorate and 87% of its urban population, and comprises 7 municipalities the populations of which are given in Table 30.

Table 30. Population of the municipalities the Sfax governorate and its growth since 1984

Municipality	April 1994 census				Growth rate 1984-1994
	Households	Males	Females	Total	
Sfax (1)	52 945	118 874	111 981	230 85	1.6
Sakiet Eddaier	6 537	15 384	14 854	30 238	3.6
Sakiet Ezzit	7 561	17 827	17 159	34 986	2.7
Chihia (2)	4 194	9 797	9 489	19 286	2.9
Gremda (2)	6 360	14 697	14 206	28 903	3.2
El Aïn	3 939	16 520	15 654	32 174	2.6
Thyna (3)	4 081	9 838	8 997	18 835	-
Total for Greater Sfax	88 617	202 937	192 340	395 277	2.1
Other municipalities of the governorate	12 209	29 882	29 514	59 396	3.0
Total for all the municipalities of the governorate	100 826	232 819	221 854	454 673	2.9

- (1) The municipality underwent a boundary change after 1984
 (2) The municipality in 1984 was a part of the Sfax municipality
 (3) The municipality was created in 1994

Source: RGPH-INS, 1984 and 1994

The population of Greater Sfax in 1975 was 266,585 inhabitants; it increased to 304,742 by 1984 and to 395,277 by 1994, an average annual growth rate of 2.1% between 1975 and 1994. This is one of the lowest rates of growth of the cities of Tunisia. The Sfax urban area therefore has a low power of attraction with respect to the governorate as a whole and to the rest of the country, as well. Its population growth is due mainly to natural changes and to migration (in the respective proportions of 2/3 and 1/3).

The 15-49 year age group, constituting the active population for the Sfax urban area in 1989, comprised 129,000 persons, of which 115,000 corresponded to Greater Sfax, giving this area an activity rate slightly higher than that of the country as a whole (32.0% versus 31.4%). At the governorate level, the unemployment rate in 1989 was 11.3%, compared with 15.3% for the whole of Tunisia. Half the working population (154,000 in 1984 and 176,000 in 1989) is more or less equally divided between industry and agriculture+fisheries, the other half being employed mainly in services.

The average household of Greater Sfax has decreased in size between 1984 and 1994, from an average of 5.16 persons to 4.46; this is a lower ratio than that of the ensemble of urban households, nationally (4.9 persons in 1994).

The population growth rate in Tunisia has dropped 2.5% per year between 1975 and 1984, and 2.3% between 1984 and 1994. This trend, which is an objective of Tunisia's population policy, will continue. The population growth rate, according to UN projections, will hardly exceed 1% by the year 2025, and may even be only 1% in 2030.

The Sfax governorate, with its currently low power of attraction, could be reinforced significantly in the very long term by the demographic and economic weight of Sfax itself.

The resultant of these two trends would be such that, by 2050, Sfax would be a city of a million persons, as indicated in Table 31.

Table 31. Population perspective for Sfax

Administrative entity	1994 population	MAGR 1975-1994	2030		2050	
			MAGR	Population	MAGR	Population
Greater Sfax	395,000	2.1	2.0	800,000	2.0x	1,100,000
Sfax governorate	734,000	2.3	2.0	1,500,000	1.5	2,000,000

MAGR: Mean annual growth rate

For the active population, the massive arrival of the younger generations (those born after the year 2000) on the job market will be the key stake in any development perspective.

Housing

The Sfax family, like that of Tunisia as a whole, has evolved a lot since the promulgation, in 1957, of the code on personal status, changing it from a patriarchal family to a unitary one. The result has been a break-up of the greater family and a multiplication of households which, in Sfax, has meant an improvised encroachment and widespread parcelling of the city's gardens, which used to afford environmental protection. This family has nevertheless retained a number of social attachments: a blind belief in real estate, a firm will to appropriate housing, a specific individualism (80% of the Sfax households own their homes which are mostly houses or villas). At the governorate level, the housing sector takes up a major part of household savings, which used to go into agricultural development, notably into olive-tree plantations, and more than a third of the regional investment (35% of this budget line in the VIIth Plan for Economic and Social Development for 1987-1991). It thus creates a disequilibrium between productive investment to increase wealth and employment and that put into real estate. This has led to an excess of habitations (1.18 per household in 1994, compared with 1.12 in 1984). The growth of housing, by type and by milieu, between the last two censuses is summarised in Table 32.

Table 32. Housing in the Sfax governorate

	Census	1984					1994
	Milieu	House	Apart-ment	Villa	Other	Total	Total number of units
Sfax governorate	Urban	43 356	6 963	24 204	906	75 402	118 721
	Rural	39 271	46	2 725	2 635	44 677	58 402
Tunisia as a whole	Urban	460 883	71 854	172 015	21 048	725 800	1 211 267
	Rural	471 015	587	20 555	95 143	587 300	657 255

Source: RGPH, 1984 and 1994

The disequilibrium (number of homes, number of households) is more marked in the urban milieu than in the rural milieu. In 1994, the urban milieu of the Sfax governorate comprised 100,826 households for 118,721 habitations, giving the ratio of 1.18 habitations per household. This ratio is slightly lower for the Sfax urban agglomeration (1.16 habitations per household, as indicated in Table 33).

Table 33. Housing in Greater Sfax

Census	1984					1994	
	No. of households	Traditional houses	Apartments	Villas	Total	No. of households	Total no. of households
Sfax	38 760	25 670	6 575	10 863	692	52 945	61 302
Gremda	4 081	2 220	37	2 374	34	6 360	7 237
Chihia	2 740	1 339	44	1 573	41	4 194	4 773
Sakiet Ezzit	49 090	2 398	43	2 971	40	7 561	8 704
Sakiet Ed Dair	3 954	1 765	17	2 604	28	6 537	7 417
El Aïn	4 644	2 421	25	2 588	42	6 939	7 924
Thyna	2 352	2 072	0	633	80	4 081	5 050
Total Greater Sfax	61 440	37 885	6 471	23 606	957	88 617	102 407

Source: RPGH, 1984 and 1994

In spite of the excess of housing, the house-building effort in Greater Sfax continues. The municipalities have issued annually, between 1989 and 1993, an average of 1430 building permits for 2400 homes each year (Table 34).

Table 34. Growth in the number of building permits in Greater Sfax

Year	1989	1990	1991	1992	1993
Number of building permits	1,574	1,375	1,516	1,429	1,250
Number of housing units	2,543	2,954	2,668	2,257	1,640

Source: Direction Régionale de l'Équipement et de l'Habitat - Sfax, rapports trimestriels

Although the housing of the Sfax agglomeration is numerically in excess, there is an imbalance between supply and demand, especially with respect to public housing.

An analysis of the 1984 census data (those for the 1994 census are not yet published), in terms of living conditions in Greater Sfax, is given in Table 35.

In terms of living space, the density in Greater Sfax is very low (25.8 inhabitants per hectare, 6.7 housing units per hectare). It varies from district to district and decreases with distance from the downtown area. The urban sprawl of Greater Sfax has led to an underdevelopment of the city in terms of traffic management, which poses a number of problems (sanitation, circulation etc.), especially in the unincorporated areas and in those of anarchic house construction.

Table 35. Living conditions in Greater Sfax in 1984 (in percentage of housing units)

	Living conditions	% of housing units
Occupation status	Occupation status	79.2
	Tenants	14.0
	Others	6.8
Number of rooms	1 room	12.8
	2 rooms	19.3
	3 or 4 rooms	52.3
	5 or more rooms	4.4
	Not declared	1.2
Conveniences	Kitchen	91.7
	WC	96.5
	Bath room or installed shower	26.5
	Electricity	98.1
	Telephone	10.4

Source. RGPH. Volume régional, Sfax governorate

Given the excess housing in Sfax, the reduced area occupied per habitation, the prospect of low population growth, and worries about investment in employment, the rate of house building in Sfax will show a decrease after the year 2000. Urban sprawl would, however, benefit from being slowed down. The response to future housing needs could be easily envisaged in terms of vertical extension (groundfloor + 1 storey and groundfloor + 2 storeys), without depriving Sfax of its name as a city with a human, and a humanising, dimension.

3. POTENTIAL IMPACTS FORESEEN IN NATURAL SYSTEMS AND IN SOCIO-ECONOMIC ACTIVITIES

3.1. Climatic trends in the Sfax region

3.1.1. Introduction

The global warming of the Earth foreseen for the coming century constitutes one of the main climatic concerns. The interest in this subject no doubt resides in the fact that this forecast change apparently has a human cause rather than a natural one. The mechanism of this warming is now fairly well known. It results from an increase in the concentration of carbon dioxide (CO₂) and other gases such as methane (CH₄), nitrous oxide (N₂O) and ozone (O₃) in the atmosphere. Water vapour also plays an important role. Although these gases represent only a very small proportion of the atmosphere, they have a considerable effect on the Earth's radiation balance by trapping the infra-red energy radiated from the Earth's surface, producing the so-called "greenhouse" effect: a heating of the Earth's atmosphere (Table 36).

Table 36. The greenhouse effect: a natural phenomenon in the atmosphere

	Principal greenhouse gases	Surface temperature (°C) in the absence of greenhouse gases	Observed surface temperature (°C)	Greenhouse warming (°C)
Earth	0.04% CO ₂ 1% H ₂ O	-18	15	33

If the climate system is in equilibrium, the solar energy absorbed is exactly compensated by the energy radiated by the Earth-atmosphere system. Any factor likely to disturb this equilibrium, hence to alter the climate, is called a "radiative forcing agent"; this designation is applied to the various greenhouse gases.

3.1.2. Models and modelling

In the light of the basic data on the global climate system, it has been possible, with the help of computers, to incorporate our knowledge into three-dimensional mathematical models that synthesise, sometimes very schematically, the physical and dynamic behaviour of the climate system. These "General Circulation Models" (GCMs) currently take pride of place because of their predictive capabilities with respect to future climatic conditions. They allow future-climate scenarios to be drawn up.

In the context of the present study, four models have been used (Houghton *et al.*, 1990); they were developed by:

the United Kingdom Meteorological Office (UKMO)
Goddard Institute of Space Studies (GISS)
Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL)
Oregon State University (OSU).

The usefulness of these models for the development of scenarios depends obviously on their resolution: the finer the spatial resolution, the more realistic is the scenario. The scenarios are developed on the basis of forecasts of equilibrium response by the various Global Circulation Models.

The standard modelling approach consists in determining, for temperature and for rainfall, the difference in effect between (2 x CO₂) and (1 x CO₂), which is the basis of the scenarios proposed.

3.1.3. Climate scenarios

3.1.3.1. Generalities

Scenario A supposes that the greenhouse-gas emissions are not limited and that their concentration continues to increase at the present rate; such a scenario is designated "Business-as-usual". According to this scenario, a global warming of about 0.3°C per decade is foreseen; this corresponds to 1°C above the present level by the year 2050 and 3°C by the end of the next century.

Scenarios B, C and D involve an ever increasing control of greenhouse-gas emissions, which implies a global warming of about 0.2°C per decade (Scenario B), a little more than 0.1°C per decade (Scenario C) and about 0.1°C per decade (Scenario D)

However, a certain number of changes have occurred in the world since 1990. In particular, in the geopolitical field, there has been the break-up of the Soviet Union and the Gulf War; in the socio-economic field, the World Bank and the United Nations have revised their projections for the human population, energy and industry. Taking into account these changes and the greenhouse effects associated with them, the scenarios proposed by the IPCC in 1990 were revised in 1992 (Houghton *et al.*, 1992). Six other scenarios have been developed and have been designated IS92 a, b, c, d, e and f. These new versions encompass a wider range of dispositions concerning the future emissions of greenhouse gases. Scenario IS92a is the closest to the "Business-as-usual" Scenario (SA90).

The hypotheses considered when estimating the changes between now and the year 2030 are as follows:

- the greenhouse-gas concentration increases as foreseen in the IPCC Business-as-usual Scenario; the CO₂ would double its present concentration by 2020, and quadruple it by 2080;
- the best estimate of the size of the mean global equilibrium due to the doubling of the CO₂ concentration (climate sensitivity) is currently 2.5°C; this estimate is based not only on the models but also on the relevant observations,
- the best estimates (scenario outcomes) are given by the models with a high spatial resolution.

3.1.3.2. Climate scenarios: application to the Sfax coastal area

The climate scenario relative to the Sfax coastal area was derived by extrapolation from the scenarios established by the IPCC and the University of East Anglia, on the basis of a high-resolution model (Palutikof *et al.*, 1992) drawn up for the island of Malta. The Malta work was based on climate data collected from numerous meteorological stations in the Mediterranean basin, several of which are in Tunisia.

Results have been obtained with respect to the two fundamental elements of climate: temperature and rainfall. The temperature perturbations are presented by a model of average change, in degrees Celsius per degree Celsius of annual and global change. Rainfall perturbations are presented as percentage change per degree Celsius of annual and global change.

The climate scenario established for the Sfax coastal area could show, for the year 2030 and for every degree Celsius of global change, an average annual warming of 0.8°C to 0.9°C. This annual estimate agrees relatively well with those calculated on the basis of seasonal temperatures. Thus, for the autumn, as for the winter, the proposed scenario is similar to that for the annual temperatures; warming would be somewhat weaker for the summer season (0.8°C) and even weaker for the spring for which the warming would be 0.7°C to 0.8°C.

Regarding the rainfall, the scenarios proposed for the Sfax region show certain nuances depending on the time-scale considered. On the annual scale, by 2030, rainfall would increase 6 to 9% for each degree Celsius of global warming. The foreseen increase in the rainfall would be greater in winter, with an increase of 8 to 12%. And similarly for autumn, for which the corresponding increase would be 5 to 10%. At this level, it is clear that the foreseen changes in rainfall are proportional to those estimated for the temperature. On the other hand, spring rainfall would decrease by up to 6%. The UEA scenario does not provide any forecast for summer rainfall, mainly because of the weakness of the raw data and their significant variability.

The climatological analysis (for temperature and rainfall) of the time-series data for Sfax (1901-1985) reveals certain significant trends. For temperature, the analysis was carried out separately for the mean daytime maxima and for the mean nocturnal minima. The mean maximum temperatures show a generally significant negative trend in spring, summer and autumn. The mean minimum nocturnal temperatures show a general positive trend, especially in January and February. There are some small differences between the littoral zone and the hinterland, however. Overall, it is possible to say that the Sfax area has an increasingly diminishing diurnal temperature range.

Statistical analysis of the mean temperatures shows that, for the period 1901-1985, these mean temperatures have a clear tendency to increase. The annual warming, at a rate of 0.009°C, is, moreover, highly significant.

The generally significant trend to warming also affects the mean temperatures for autumn, winter and spring; that is, the cool and humid seasons. Conversely, there are some signs of cooling in summer. It may therefore be said that, in Sfax, there is an increasingly clear reduction in the mean annual range. This general trend to warming has also been confirmed by a chronological analysis of the continentality coefficient, which shows a clear general tendency to decrease.

The application of the same statistical procedures to the rainfall data leads to inconsistent results. Even if there are some signs of an increase, such a general trend remains very weak and well below an acceptable level of statistical significance.

On a regional scale, that of the Mediterranean basin, the IPCC Working Group 1 forecast, for region 4 (southern Europe and Turkey; 35°-50°N, 10°-45°E), a warming of 2°C in winter and 2-3°C in summer, by the year 2030. This warming would be accompanied by a small increase in winter rainfall, up to 10%, and, in summer, by a change of between -5% and +15%. The percentages are relative to present values (during the last three or four decades).

On a global scale, according to the IPCC Global Scenario, the global warming would be about 1,8°C by the year 2030. This rate of increase is the best estimate available. For 2100, the forecast warming would be between 2°C and 5°C. This warming would be accompanied by a significant increase in mean sea level, of 18cm ± 12cm by the year 2030, and 65cm ± 35cm by the year 2100. The possible increase in sea level would be due to thermal expansion, hence to a lower density and higher volume of the surface waters.

In conclusion, it is clear that the estimations of the predicted climate changes, based on the application of high-resolution models, reveal measurable differences in the level of warming forecast on the three time scales: local, regional and global.

3.2. Lithosphere

The Sfax coastal area is part of the sahel shelf which is considered to be one of the most stable sectors in the context of the region's geodynamical history

Variations in the sea level generally depend on several factors; in particular: the subsidence rate, the sedimentation rate and terrigenous inputs.

Subsidence in the Tunisian sahel, the old Quaternary period, which was compressive, retains its characteristics throughout the rest of the Quaternary and up to the present day (Kammoun, 1981). Besides this compressive Quaternary tectonic development, the sahel is a part of the Mediterranean margin that presents a typical buckling behaviour between the Mediterranean bed which is subsiding and a hinterland which is upthrusting (Boucard, 1960).

However, the Sfax littoral zone, which is the object of the present study, is part of the Kerkennah mole bordered to the north by the Mehdiya valley and to the south by the ridges of Chaffar and Ashtart. This plateau seems much less subsident than the areas to the north and south. The subsidence rate, which, in this area, is strongly related to the neotectonics, remains to be estimated. However, this weak subsidence could contribute to an increase in relative sea level.

Regarding the sedimentation rate, the Sfax littoral is the site of a native carbonaceous deposit which is filling the basin. If this deposition became stronger it could prevent a possible increase in relative sea level. We do not, however, have precise data on the sedimentation rate to allow confirmation of this hypothesis.

The terrigenous inputs, given the semi-endoreic character of the area (exoreic only at times of flooding, which is a rare event), are very low and incapable of blocking the advance of the sea.

In conclusion, there is a lack of data (on subsidence, sedimentation rate and quantification of terrigenous inputs); this fact and the flatness of the relief, with relatively low-lying areas in the Sfax littoral (Figure 36), and particularly in the port area and the northern industrial zone (Figure 37), suggest that an eventual significant increase in mean sea level could cause flooding, notably in those areas that are now almost at the present sea level.

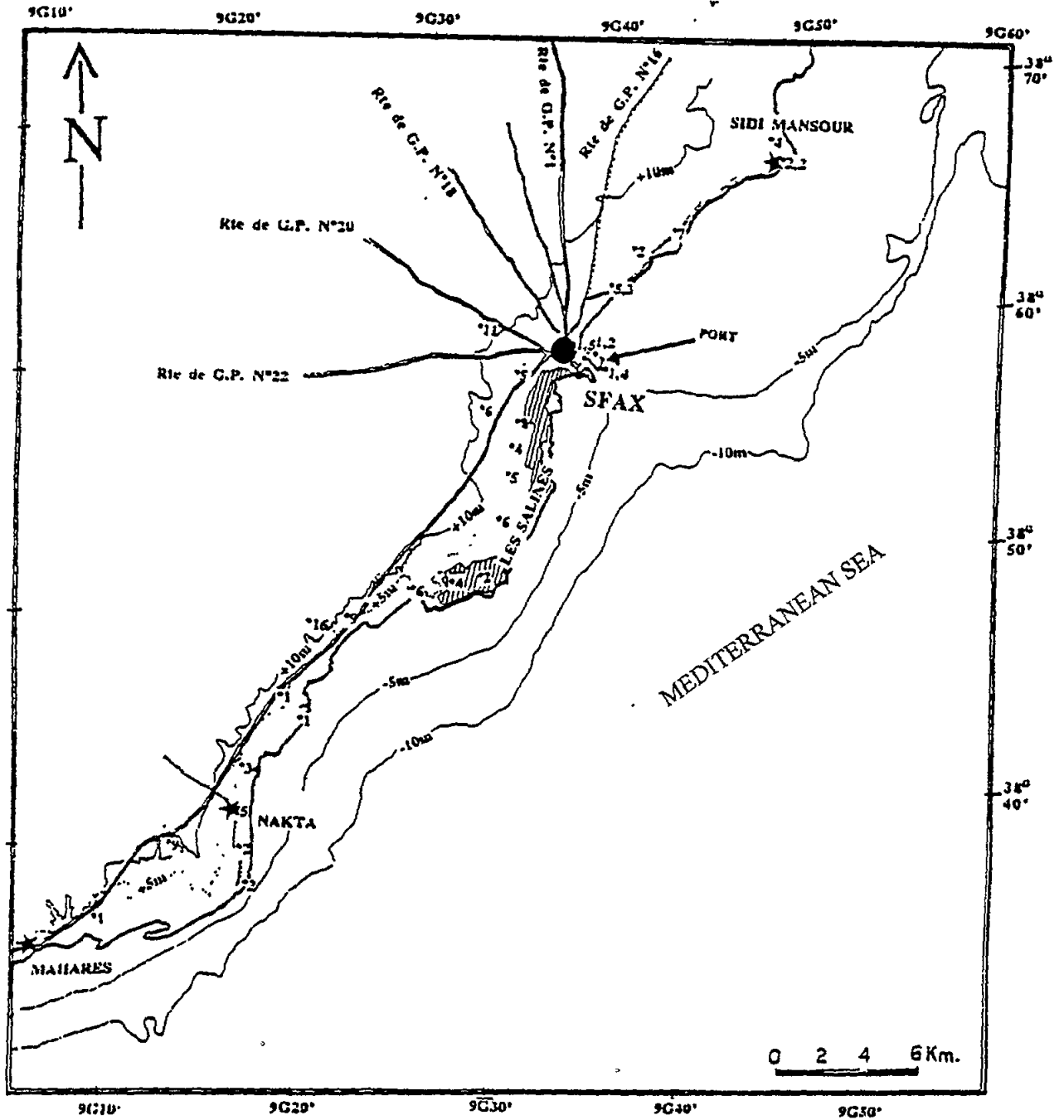


Figure 36. Physiographic sketch of the study area

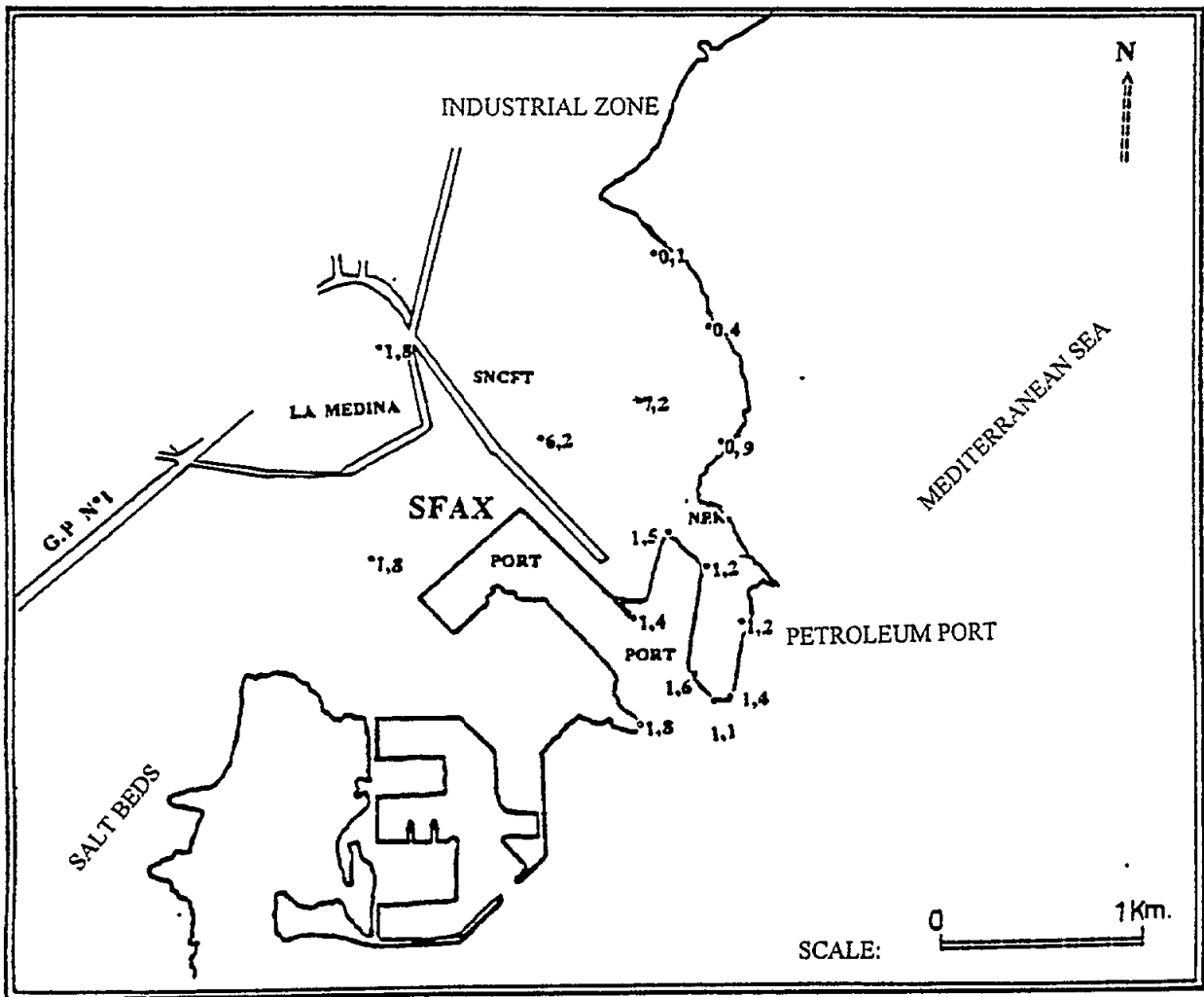


Figure 37. Physiographic sketch of the port of Sfax and the north industrial zone

3.3. Hydrosphere

Sfax has an arid climate. This aridity, combined with the caprices of the Mediterranean climate, makes water a resource that is scarce and badly distributed in space and time.

The rapid growth in the demand for water, especially for agricultural, domestic, industrial and touristic purposes, has led to an excessive exploitation of the ground water through the sinking of numerous surface wells.

Given the slow rate of recharge (average annual rainfall of about 220mm, strong evaporation of about 1500mm per year) and the limited power of the reservoir aquifer, the littoral water beds are considered to be only secondary aquifers.

This situation has led to an obvious degradation in the chemical quality of the water in many areas, which is reflected in the increased salinity and, locally, in the real danger of invasion by sea water.

In the Djebeniana area, for example, 30km to the north of the study area. the piezometric record since 1970 shows that, from 1980 onwards, a zone of convergence of the fresh- and sea-water streams has been created in the Ahzeg area. This change in the direction of flow to the east of Djebeniana can be explained by the drawing of water due to the huge local demand. In this area, the uncontrolled exploitation of the ground water by the sinking of water wells has never stopped growing, owing to the shallow depth of the water table. This situation has continued to evolve and, in the areas of Ahzeg and Louza, a clear-cut change in the direction of flow in the ground water can now be observed. This flow has changed from south-west/north-east to east/west. The piezometric level in these localities is now below sea level (-3m relative to mean sea level). This critical situation favours the intrusion of sea water towards the continent hence the contamination of the surface water.

The situation could become even more serious if there were an increase in mean sea level, as predicted by the IPCC scenarios. The whole of the Sfax coastal area could become invaded by sea water, rendering the surface fresh water resources unusable.

3.4. Natural and managed ecosystems

3.4.1. Terrestrial and managed ecosystems

Climatically, Sfax has a dry Mediterranean bioclimate, and specifically between the two sub-levels, superior and inferior (Emberger, 1952). The pluviometric deficit is therefore spread over some nine months of the year, since the average annual rainfall is about 200mm, whereas the potential evapotranspiration (PET) exceeds 1500mm per year (see Table 7).

A potential increase in temperature would increase the PET and hence the edaphic aridity, causing floristic modifications in the natural and the managed ecosystems. The effect of the increased aridity is most easily seen in areas of low vegetation coverage, which implies a weak reflectance of the solar radiation hence an increase in evaporation and a water shortage at the root level.

Pedologically, the impact of the temperature increase is a function of the edaphic substrate and especially the soil texture. Thus, in clayey soil, the repercussions of the temperature increase are more serious than in silty soil and even more so than in sandy soil. This has an influence on the water supply to the point of causing a drop, hence reducing the availability to the vegetation.

For Sfax, bearing in mind the values proposed by the climate-change scenarios (i.e., a temperature increase of 0.8-0.9°C and a rainfall increase of 6-9%), it would seem that:

- The moderate temperature increase would probably not have a great influence on the natural and managed ecosystems. The plant species in these ecosystems are, for the most part, adapted to an arid bioclimate, itself characterised by normal variations that sometimes exceed the changes forecast by the above-mentioned scenarios. Thus, the natural flora, as well as the cultivated flora, would withstand such a temperature change without suffering biological damage. In effect, the photosynthetic power of the natural, or of the cultivated, species would not be affected by an increase of 0.8-0.9°C, inasmuch as the genotypic plasticity of the arid-bioclimate species would tolerate this temperature increase unharmed.
- As for increased rainfall, in the Sfax area, the vegetation in the natural and managed ecosystems would be sensitive to annual variations in rainfall. In a rainy year, there is good plant growth, increasing the vegetation cover, especially in natural ecosystems. In a dry year, biological production, notably in managed ecosystems, regresses considerably. In the year 1994-1995, which, in the Sfax area, was characterised by a significant pluviometric shortfall, olive trees on relatively heavy soils (clayey-silty) manifested, from March 1995 onwards, signs of withering, with a risk of worsening in the absence of rain in the subsequent months.

3.4.2. Marine ecosystem

Posidonia sea-grass beds

The beds of *Posidonia oceanica*, although decreasing, constitute an essential element of the marine ecosystem of the region.

Apart from pollution and fishing, warming of the sea water would present a further problem for this phanerogam and lead to its further decrease. More competitive thermophilic species could move in and take its place, the tropical alga *Caulerpa taxifolia* being a possible example.

The warming of the sea not only inhibits the vertical growth of *Posidonia* but also favours its sexual reproduction at the expense of asexual, vegetative reproduction, thus reducing the extension of the species. The disappearance of the sea-grass beds could lead to the disappearance of the animal species that live in the sea-grass beds, which serve as spawning and/or nursery grounds for several species of fish, cephalopods, crustaceans and others. The *Posidonia* leaves are practically the only physical support for the very early life-history stages of sponges; there are many sponge species in the region and they are of economic importance.

Faunistic changes

Several Red Sea species have entered the Mediterranean, including the study area, in the last several decades; this process is continuing and some of the invading species are becoming acclimated. A fish species from the Gulf of Guinea has also been recorded. These incursions of tropical species could generate changes in the fish catches and species competition; the rapid multiplication of the common shrimp of the Red Sea, *Trachypenæus curvirostris*, is occurring and it appears to be taking the place of the native shrimp, *Penæus kerathurus*, which has a higher commercial value.

Moreover, climate changes could disrupt the migration routes of certain pelagic-fish species, such as the tunas.

Phytoplanktonic blooms

The rapid multiplication of phytoplanktonic organisms, giving rise to the so-called "red-tide" phenomenon, is directly related to the abundance of nutrients (notably nitrogen and phosphorus) in the sea water, and to certain climatic parameters, particularly the strong insolation and high water temperatures. Although this phenomenon is more usually associated with enclosed water bodies, as lakes and lagoons, it now occurs frequently in the sea. It has been observed each year in the Gulf of Gabès since 1988. The summer and autumn of 1994 were marked by an ichthyotoxic dinoflagellate bloom that produced significant fish mortality along the Sfax coast. The phenomenon has been promoted in the region mainly by the high temperatures and the enrichment of the sea water by phosphorus and organic matter in general.

If industrial discharges into the sea continue, and given the morphological and hydrodynamic characteristics of the region, temperature increases are bound to occur and to promote the phenomenon, and to have negative effects on the fish stocks, hence on the fisheries which are already in a crisis.

Jellyfish plagues

A temperature increase could also promote the multiplication of jellyfish (medusas). Outbreaks of *Pelagia noctiluca* recorded from 1979 to 1984 along the coasts of France, Malta, Greece and in the Adriatic Sea (Goy, 1984) were explained as having been due to a decrease in rainfall and a temperature increase.

In Tunisia, and more particularly in the Gulf of Gabès, several jellyfish outbreaks have been recorded since 1988; they inconvenience bathers and fishermen alike

Temperature increase remains one of the most important factors in the development of jellyfish species, by not only stimulating reproduction but also regulating their seasonal and daily migrations (Hamza, 1990).

3.5. Socio-economic activities

3.5.1. Energy and industry

A climate change in the region of Sfax, such as that suggested by the UEA scenario (i.e., temperature and rainfall increases of 0.8-0.9°C and 6-9%, respectively) would have no perceptible effect on industry. Even so, such a change could cause an increase slightly more marked than expected for energy supply, owing to, among other things, the demand for air conditioning to overcome the effects of the summer heat.

3.5.2. Tourism

Since Sfax is not a traditional tourist attraction, the above-mentioned climate changes would have practically no impact on tourism.

3.5.3. Transport and services

Even if the temperature increase forecast for Sfax would, because of its modest value, have little effect on transport and services, the forecast change in rainfall (9%, or 20mm of extra water) could, in contrast, have an effect on agriculture which would have repercussions on the supporting transport and services.

3.5.4. Sanitation and health

The climate changes foreseen would not seem likely to call for modifications in the forecast requirements for sanitation and health. Increased rainfall, in the Sfax context, could only have beneficial effects, not only for the standard of living but also for health itself. Nevertheless, an increase in mean sea level of 30cm by the year 2100 would result in the raising of the piezometric level of the water table which already reaches the soil surface in various parts of Sfax. This would add to the problem of drainage in the city (especially as concerns rain water) and the amplification of the phenomenon of rising damp by capillary action, thus increasing the humidity of buildings.

3.5.5. Population and housing

The climate of Sfax undergoes significant seasonal (sometimes reaching 40°C) and daily (15°C or more) temperature variations. Consequently, a slight increase, of 1°C over a very long period (to 2030) would, practically, only have a slight effect on the population, its movements and its habitations. Increased rainfall, which is always welcomed by the population, would, in turn, have no effect on the habitations.

4. RECOMMENDATIONS

4.1. Appropriate options proposed under this study

4.1.1. Atmosphere

When processing the "official" meteorological data available for the Sfax littoral, it was found that some of them had a low reliability. It was therefore essential to subject them to rigorous quality control before using them for developing the scenarios for the future.

Also, the variability in the climate data, reflecting the underlying characteristics of the Tunisian climate, makes even more difficult the task of interpreting the average values retained for these scenarios.

While keeping these various difficulties (reliability and variability) in mind, as well as the numerous uncertainties attached to the climatic models and scenarios themselves, it is clear that any proposal on the possible impacts of climatic changes, and their consequences, must necessarily be speculative.

Consequently, further efforts are necessary to ensure a better understanding of past and present climate in the Sfax area, especially since the changes detected may fall within the range of natural variability of the climate. To this end, it is necessary, even imperative, to guarantee easier access to meteorological data which should, moreover, be subjected to a prior quality-control procedure.

4.1.2. Lithosphere

For a better understanding of the impact of an increase in mean sea level, it is essential to undertake a study of the coastal dynamics in the study area, with a view to proposing an evolving scenario that would take into account the effects of interaction (subsidence-sedimentation-climate).

4.1.3. Hydrosphere

The over-exploitation of the ground water of the Sfax coastal area, particularly the aquifers to the north of the study area, has led to a clear threat of invasion by sea water. If the mean sea level increases, this situation will quickly worsen, with a general contamination of surface water.

To overcome this problem, which already exists here and there, it will be necessary to incite farmers to meet the specific needs of their crops for fresh water, especially in areas subject to the risk of sea-water intrusion, and to choose correctly the areas in which to establish irrigation.

It will also be necessary for the agricultural authorities to multiply WSC actions (Water and Soil Conservation), which are already being undertaken in some places, with a view to better mobilising run-off water.

The need to recharge aquifers from deep water sources must be met, so as to raise the piezometric level and counteract the drop in the chemical quality of these waters.

4.1.4. Natural and managed ecosystems

4.1.4.1. Terrestrial and managed ecosystems

The correlation between the annual rainfall increase of 6-9% and that of temperature of 0.8-0.9°C would not have a disastrous effect on the flora, natural or cultivated; the effect would more likely be beneficial. Considering that the natural and cultivated flora in the Sfax region is composed of approximately 50% of species with a C₃ biochemical type of photosynthesis (optimum photosynthetic temperature of 20-25°C) and 50% of species with a C₄ biochemical type of photosynthesis (optimum photosynthetic temperature of 30-35°C), the climate change foreseen in the aforementioned scenarios for the Sfax region would even benefit the vegetation. The given values could be considered advantageous for the natural and managed ecosystems. Nevertheless, the threshold set by the expected climate changes, especially in respect of temperature, should not be surpassed if the impact is to remain positive. If it is surpassed, grave repercussions on plant behaviour could be expected.

Therefore, for the Sfax coastal area, the risk due to the forecast climate change would not have a serious impact on the natural and the cultivated vegetation, nor, indeed, on the lithosphere.

However, it should be recalled that the bioclimatic specialists are in agreement on the impact of possible climate changes on the mean sea level. Such a change, with respect to the Sfax coastal area, would have disastrous effects on the natural and on the managed ecosystems. There would be, particularly in low-lying coastal areas, a "gravitational interpenetration" between sea water and the continental land mass. The salination of the continental hydrosphere and geosphere in the soil layer penetrated by the roots of natural and cultivated plant species would adversely affect their growth and then cause their death. To reduce this risk, the following actions are recommended:

- Replanting of the littoral zone with species able to support high salt (NaCl) levels, such as those for the genus *Tamaris* which is reputed in this sense; and the present vegetation should be protected from all forms of degradation.
- Prohibition of any new agricultural development in areas threatened by sea-water invasion.
- Carrying out of regular surveys of the natural and cultivated vegetation; the appearance and dynamics of the vegetation (general state of individual plants, their disappearance or the appearance of new individuals, etc.) is a pertinent biological indicator of changes in sea level.
- Study of the impact of atmospheric pollution on the biology of plant species in natural and managed ecosystems; observations of the fluorine and heavy-metal levels in plant species should be made and the results of such observations should be used to determine pollution-resistant species in the vicinity of factories, for the whole of the coast between Sfax and Gabès.

4.1.4.2. Marine ecosystem

The only recommendations that can be made in the present context are:

- Stopping the dumping of phosphogypsum into the sea, so as to prevent the enrichment of the sea water in phosphorus and to reduce the turbidity of the sea; such a measure could diminish the development of phytoplankton blooms and improve the state of health of the vegetal coverage of the sea bed.
- Treating all industrial and domestic waste waters.

- Forbidding the use of all fish-trawling gear in shallow water and over Posidonia sea-grass beds, so as to avoid the continual disturbance of the sea floor and the destruction of the sea-grass beds, which enrich the environment in organic matter.
- Maintaining the rational exploitation of the fishery resources, so as to avoid over-exploitation of the fish stocks and the rarefaction of certain species that could become endangered by a possible competition with Red Sea species, leading to changes in fish catches that would be undesirable on economic grounds.

4.1.5. Socio-economic activities

4.1.5.1. Energy and industry

Even if the expected climate changes in the Sfax area would have little effect on either energy supply or industry, it would be necessary to promote ecologically sound exploitation of petroleum, especially since the risks already run, owing to the establishment of a peripheral storage area (about 30ha) for petrol, have started to alert a good number of those involved who seek to protect themselves now.

Given the modesty of the petroleum resources in the region and in the country as a whole, the sensitisation of consumers to the need to conserve energy is indispensable. At the same time, the search for alternative energies (solar: 300 sunny days per year; wind: importance of wind frequency; sea: importance of coastline) is more necessary than ever.

4.1.5.2. Tourism

The climate-change scenario retained for the Sfax area implies no particular recommendation as to the eventual development of tourism (possibly commercial and cultural).

Nevertheless, if tourism were to develop rapidly in the coming years, building-construction permits for new hotels, especially in the littoral zone, should take into account, in particular, a possible increase in mean sea level, so as to avoid the risk of flooding.

4.1.5.3. Transport and services

These sectors will, in the very long term, undergo major developments. The public authorities will have to double the amount of rail track between Tunis and Gabès, via Sfax. Any initiative in this direction must necessarily take into account the possible increase in rainfall, leading sometimes to flooding, and an increase in mean sea level, especially in places where the railway runs along the coastline.

4.1.5.4. Sanitation and health

Increased rainfall, together with the growing urban density of Greater Sfax, would require present efforts to improve sanitation to be continued towards "total sewerage cover".

In spite of the intensification of action to provide sanitation services (by ONAS) in recent years (rate of about 40%), the level of coverage remains low, which contributes to the pollution of the Sfax ground water, since this ground water still receives two thirds of the domestic waste water via cesspits. This situation is further aggravated by the proliferation of constructions in the former gardens of Sfax. Consequently, it is very urgent to continue to strengthen this effort, already carried by ONAS, with a view to extending the sewerage network to the whole of the Greater Sfax area.

Regarding health, air pollution due to industrial discharges, especially those from the Siape plant, is evident. Measurements of, for example, SO₂, CO₂, fluorine and aerosols from certain sources show appreciable loads with, however, still relatively low levels. The presence of these chemicals, associated with an eventual temperature increase in the Sfax region, could create a heavier atmosphere, hence the proliferation of allergic and cancerous illnesses.

A study would therefore be desirable to develop a map of the distribution of the ill and their illnesses, with a view also to determining, for the affected population, a breakdown by age, profession or trade, social level, etc. Such a preliminary study could help the medical fraternity to propose adequate solutions to these problems.

4.1.5.5. Population and housing

The temperature change foreseen for Greater Sfax in the very long term would have no discernible effect on the population and its behaviour. The rainfall increase would suggest the general use of cisterns to collect, for domestic use, rain water falling on terraces of private houses. Moreover, the rationalisation of water use and the saving of water, a resource that is becoming more and more rare, are to be recommended.

It is also recommended to take into account a rise in the piezometric level of the Sfax aquifer at construction sites, by raising the street level and by using proper materials for the building foundations.

4.2. Suggested follow-up of this study

As a follow-up to the present study, the objective of which was to identify and evaluate the possible implications of expected climate changes on the terrestrial, aquatic and marine ecosystems and the socio-economic activities of the Sfax coastal area, the following may be suggested.

With respect to the climate section of the study:

- A synthesis of the Tunisian climate seems essential, as a basis for any future climate or environmental study, in this sense, the elaboration of a climatic atlas of Tunisia is strongly to be encouraged.
- The recent and ancient history of the Tunisian climate remains unknown; research programmes on these subjects should be encouraged and supported by all possible means.
- In recent decades, Tunisia has known some extreme climatic events (flooding, drought, heat waves etc.) which have had a significant effect on the human population and its environment; studies on the impact of the climate in Tunisia would therefore be invaluable.
- To provide solutions to outstanding problems in the climate field, it is necessary to set up stations able to provide regular and reliable data, particularly on: atmospheric pressure, rainfall, temperature, insolation, infra-red albedo of the soil, winds, air humidity.

Numerous industries in the Sfax region discharge various gases into the atmosphere (CO₂, SO₂, SO₃, NO₂, etc.). A part of these gases, in the presence of water vapour in the atmosphere, could form acids such as sulphuric and nitric acids.

These gases and acids, associated with aerosols, especially those produced by Man, which are rich in heavy metals, create a heavy and polluted atmosphere. Because of this, and wherever the number of these substances is high, they act as a screen or as a filter, letting some solar radiation at specific wavelengths through but blocking others. This industrial gas "cloud", in association with a temperature increase, even a small one as suggested by the Sfax climate scenario, would increase the greenhouse effect, on the one hand, and could cause health problems, on the other hand.

With respect to the acids formed in the atmosphere, which can attack buildings and trees, especially those close the emission points, the following is suggested:

- Action at the points of pollutant emission, by applying methods for treating the fumes in various ways (gas washing by bubbling or aspiration).
- The setting up of monitoring networks within each industrial sector, with associated reference standards to allow better appreciation of the pollution level.
- Urgent steps to be taken to protect the atmosphere from the gases discharged into the air by car exhaust pipes; this could be done during a technical check-up of the car. Energetic conservation measures should be taken by the public authorities to minimise these excesses.
- Better sensitisation of industrialists, inciting them to rigorously respect the environment and the standards currently in force.

For the problems of the ecosystems, various studies should be encouraged and sustained by the relevant national entities and international organisations, with a view to minimising the uncertainties that still remain and make up for the lack of data, and to putting forward realistic and rational proposals. The following suggestion is made in this respect:

- The conduct of a detailed study of the coastal dynamics of the Sfax region, so as to facilitate comprehension of the mechanisms that control mean sea level and, in particular, the interaction between the rate of subsidence and of sedimentation and the terrigenous inputs; the precise quantification of these various processes would allow a better appreciation of the future evolution of mean sea level and the proposal of suitable scenarios to this end.

For the low-lying areas under threat of invasion by sea water, and especially the port and the north industrial zone (see Figure 37), short-term solutions could be applied. In effect, it is necessary to:

- Protect this sector by the construction of "dykes" but taking into account changes in current direction.
- Start work on the evaluation and the management of the water resources of the Sfax area (surface and deep water), so as to be able to meet the growing demand due notably to the demographic and economic changes, without, however, compromising the water quality or ignoring the danger of sea-water intrusion.

Given the strategic importance of such a study as the present one, it is advisable to extend it to cover the whole of the littoral zone between Sfax and Gabès. This part of the national territory, which comprehends the whole of the Tunisian chemical industry installations, manifests an ecological and socio-economic contrast that is a possible key to eventual climate change.

REFERENCES

- ANPE (1991). Etude de Définition pour la Protection de l'Environnement dans la Région de Sfax. Agence Nationale de Protection de l'Environnement, SERAH, Tunis, July 1991.
- AMARI, A. (1984). Contribution à la Connaissance Hydrologique et Sédimentologique de la Plate-forme des Kerkennah. Thèse de 3ème cycle. Faculté des Sciences de Tunis. 169pp.
- AMOURI, M. (1994). Ressources en Eaux dans le Gouvernorat de Sfax. Rapport Interne, DRES, Tunis.
- API (1990) Etat des Projets Industriels à Sfax. Agence de Promotion des Investissements, Direction de Sfax, Tunis. August 1990.
- BENI AKHY, R. (1994). Etude de l'Evolution et Modélisation Mathématique de la Nappe Phréatique Urbaine de Sfax. D.E.A., Faculté des Sciences Tunis. 116pp.
- BEN DHIA. H. CHALBAOUI, M. and TRABELSI, H. (1990). Intéraction sol-eau et urbanisation, cas de la ville de Sfax. Symposium international AIGE. 9-13 Avrii 1990. Yamoussoukro. Problèmes de Géologie de l'Ingénieur dans les Sols Structurés.
- BEN MARIEM, S. and GHARBI, H. (1988). Analyse préliminaire des résultats de chalutage du "Hannoun" dans le golfe de Gabès (du 2 au 22 août 1988). Rapp. Doc. Inst. Nat. Scient. Tech. Océanogr. Pêche. Salammbô, 3.1-34
- BEN MUSTAPHA, K. and HATTOUR, A. (1992). Les herbiers de posidonie du littoral tunisien. I. Le golfe de Hammamet. Notes Inst. Nat. Scient. Tech. Océanogr. Pêche Salammbô, (2): 1-40
- BEN OTHMAN, S. (1973). Le Sud Tunisien (Golfe de Gabès) : Hydrologie. Sédimentologie, Flore et Faune. Thèse de 3ème cycle. Faculté des Sciences de Tunis. 166pp.
- BONNET, M (1980). Contribution à l'inventaire des ressources chalutables au large de la Tunisie - campagne de prospection de "La Pélagia" (26 avril au 1 juin 1979). Science et Pêche, Bull. Inst. Pêches Marit., 299.1-24.
- BOUCARD (1960). La Méditerranée et la révolution du Pliocène. Livre à la mémoire du P.P. FALLOT, tome 1:103-116.
- BOUSNINA. A. (1977). Les Précipitations Pluvieuses dans le Sud-Est Tunisien. Mémoire de C.A.R. 150pp. (ronéo)
- BOUSNINA. A. (1986). Variabilité des Pluies en Tunisie. Publ. Univ. Tunis, Sér. Géographie, 22:308pp.
- BOUSNINA. A. (1988). Contribution à l'étude des variations et de la variabilité des températures moyennes à Tunis: 1888-1987. Revue Méditerranée, 2:67-78.
- BOUSNINA. A. (1992). Variations et Variabilité des Températures en Tunisie : 1901-85. 4 Volumes, xii + 1164pp. (ronéo)
- BOUSNINA. A. (1995). Les Changements Climatiques à Sfax: Situation Actuelle et Perspectives de Demain.
- BRADAI, M. N. (1995). Impact de la pêche sur la tortue marine *Caretta caretta* sur les côtes sud-est du golfe de Gabès. Rapp. Comm. Int. Explor Mer Medit., 34

- BRADAI, M. N. and BOUAIN, A. (1994). La Mer : Ressources et Problèmes. Association de la Protection de l'Environnement de Sfax. 291pp.
- BRADAI, M. N., GHORBEL, M. and BOUAIN, A. (1993). Premières observations dans le golfe de Gabès (Tunisie) de *Spheroides cutaneus* (Tetraodontidæ). *Cybium*, 17(1):86
- BRADAI, M. N., GHORBEL, M., BOUAIN, A. and ABDELMOULEH, A. (1994, sous presse). Observations ichtyologiques effectuées dans le golfe de Gabès . Bull. Inst. Nat. Scient. Tech. Océanogr. Pêche, Salammbô
- BRANDHORST, W. (1977). Les conditions de milieu au large de la côte tunisienne. Bull. Inst. Nat. Scient. Tech. Océanogr. Pêche, Salammbô. 4(2-4):129-220.
- CHAKER, K., DAOUD, A., CHARFI, F., DLINSI, H. and REKIK, A. (1995). Rapport APNES du projet du Parc National de Thyna. Phase 2. Aménagement de la Zone. Projet FEM/ONG-TUN/92/GTI, APNES 62pp.
- DE GAILLANDE, D. (1970). Peuplements benthiques de l'herbier de *Posidonia oceanica* Delile, de la pelouse à *Caulerpa prolifera* Lamouroux et du large du golfe de Gabès. *Tethys*, 2(2):373-384.
- DRES (1973). Carte Pédologique de la Tunisie. Echelle 1:50 000. Direction des Ressources en Sol (DRES), Ministère de l'Agriculture.
- DGPA (1993). Annuaire des Statistiques des Produits de la Pêche en Tunisie. Ministère de l'Agriculture.
- EL CAFSI, M. A. (1988). Contribution à l'Etude de la Structure Spatiale de l'Insolation en Tunisie. Mémoire de D.E.A. de Physique, 143pp.
- EL HABAÏB, A. and KARRAY, N. (1994). Programmes d'Aménagement Côtier de la Zone de Sfax. Plan d'Action pour la Méditerranée. PNUE, Athènes.
- EMBERGER, L. (1952). Sur le quotient pluviométrique. *Comptes-rendus Acad. Sci. Fran.*, 234: 2508-2510.
- ENPE (1989). Enquête nationale de la population et de l'emploi. Institut National des Statistiques.
- FOREST, J. and GUINOT, D. (1956). Sur une collection de décapodes et crustacés stomatopodes des mers tunisiennes. *Bull. Stat. Océanogr. Salammbô*, (53):24-43.
- GOUVERNORAT DE SFAX (1991). Le VIII Plan de Développement Economique et Social (PDES, 1992-1996). Rapport de la Commission Régionale de Sfax. Sfax, juin 1991.
- GOY, J. (1984). Fluctuations climatiques de la scyphoméduse *Pelagia noctiluca* (Forskål, 1775). *Comptes-rendus Acad. Sci., France*, t.299, Série III, 12:507-510.
- GRUVEL, A. (1926). L'industrie des pêches sur les côtes tunisiennes. *Bull. Stn. Océanogr. Salammbô*, 4:1-135.
- HAIJEM, A. (1980). Etude Hydrogéologique de la Région de Sidi Abid. Rapport interne, 8:632pp. Direction des Ressources en Sol (DRES), Ministère de l'Agriculture.
- HAIJEM, A. (1985). Etude Hydrogéologique Préliminaire de la Nappe de Chaffar (Sahel, Sud de Sfax).

- HAJJEM, A. (1989). Note sur les Ressources et l'Exploitation des Nappes du Gouvernorat de Sfax. Rapport interne, Direction des Ressources en Sol (DRES), Ministère de l'Agriculture.
- HAMEL, G. (1926). Quelques algues rares ou nouvelles pour la flore méditerranéenne. Bull. Mus. Hist. Nat., Paris, 32(6):420.
- HAMZA, A. (1990). Sur la prolifération des méduses sur certaines côtes tunisiennes. Rapp. Doc. Inst. Nat. Scient. Tech. Océanogr. Pêche, Salammbô.
- HAMZA, A. and BRADAI, M. N. (1994). Sur la floraison et la fructification de deux phanérogames marines sur les côtes sud-est de la Tunisie (golfe de Gabès). Mar. Life, 4(1):1-4.
- HAMZA, A. and EL ABED (in press). Les eaux colorées dans le golfe de Gabès: bilan de six ans de surveillance. Bull. INSTOP Institut National Scientifique et Technique de l'Océanographie et de la Pêche, Tunis.
- HAMZA, A., BRADAI, M. N., GHORBEL, M. and ABDELMOULEH, A. (1995). Les marées vertes sur les côtes nord de Sfax. Rapp. Comm Int. Mer Medit., 34.
- HOUGHTON, J.T., JENKINS, G.J. and EPHRAUMS, J.J. (eds) (1990). Climate Change. The International Panel on Climatic Change (IPCC) Scientific Assessment. Cambridge University Press. 365pp.
- HOUGHTON, J.T., CALLANDER, B.A. and VARNEY, S.K. (Eds) (1992). Climate Change 1992. The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment. Cambridge University Press. 200pp.
- ILLY, P. (1968). Région de Sidi Mehedeb. Etude Hydrogéologique Préliminaire. Direction des Ressources en Sol (DRES), Ministère de l'Agriculture, Sfax.
- INM (1983). Les Inondations d'Octobre 1982 à Sfax : Analyse Synoptique et Climatologique. Tunis. Institut National de Météorologie. 41pp.
- INS. La Tunisie en Chiffres (collection). Institut National des Statistiques, Tunis.
- INS. Annuaire Statistique de la Tunisie (collection). Institut National des Statistiques, Tunis.
- INS. Bulletin Mensuel de Statistiques (collection). Institut National des Statistiques, Tunis.
- JEGUIRIM, H. (1992). La Pluviométrie dans le Sahel Tunisien. Mémoire de C.A.R., Faculté des Sciences Humaines. Société Géographique, 218pp. (ronéo)
- KAMMOUN, Y. (1981). Néotectonique dans le domaine du Sahel (Tunisie orientale). Dans : Actes du Premier Congrès National des Sciences de la Terre (Tunis, septembre 1981).
- KTARI-CHAKROUN, F. and AZOUZ, A. (1971). Les fonds chalutables de la région sud-est de la Tunisie (golfe de Gabès). Bull. Inst. Océanogr. Pêche, Salammbô, 2(1):5-48.
- KTARI, F. and KTARI, M. H. (1974). Présence dans le golfe de Gabès de *S. lundus* (Rüppel, 1828) et de *S. rivulatus* (Forsk., 1775) (poisson, Siganidæ) parasités par *Pseudohaliotrematodides polymorphus*. Bull. Inst. Nat. Scient. Tech. Océanogr. Pêche, Salammbô, 3(1-4):95-98.
- LABBE, A. (1950). Plantes spontanées de Tunisie, à floraison estivale. Bull. Serv. Bota. Agro. de Tunisie, 20:26pp.

- LE DANOIS, E. (1925). Recherche sur les fonds chalutables des côtes de Tunisie (croisière du chalutier "Tanche" en 1924) Ann. Sta. Océanogr. Salammbô, 1:56pp + figs. et 1 carte.
- LE HOUEROU, H. N. (1959). Recherches Ecologiques et Floristiques sur la Végétation de la Tunisie méridionale. Inst. de Rech. Sah. Alger., Mémoire h.s., 510pp.
- LE HOUEROU, H. N. (1969). La végétation de la Tunisie steppique (avec référence aux végétations analogues d'Algérie, de Libye et du Maroc). Ann. Inst. Nat. Rech. Agro. Tunisie, 42(5):624pp.
- LONG, G. (1949). Etude partielle de la bordure occidentale de la forêt sfaxienne: groupements végétaux, sols et vocations agricoles. Ann. Serv. Bot. Agron. Tunis, 22:197-220 + 1 colour map.
- LONG, G. (1954). Contribution à l'Etude de la Végétation de la Tunisie Centrale. Ann. Serv. Bot. Agron. Tunis, 27:388pp + 1 colour map, scale 1.200 000.
- MALIKI, M.-Y. A. (1994). Etude Hydrochimique et Isotopique des Nappes Phréatiques de Skhira et de Djebeniana et de la Nappe Profonde de Sfax. D.E.A. Fac. Sc. Tunis. 127pp.
- MEH (1983). Protection de la Ville de Sfax contre les Inondations. Ministère de l'Equipement et de l'Habitat, SOGREAH, juin 1983.
- MELICE, J.L. and WENDLER, G. (1984). Precipitation statistics in southern Tunisia: a contribution to the desertification problem in the Sahel zone. Arch. Met. Geoph. Biokl. B33:331-348.
- MPDDR (1994). Rapport du Suivi du Développement du Gouvernorat de Sfax. Cellule de Planification de Sfax. Ministère du Plan et du Développement et du Développement Regional, avril 1994.
- MOLINIER, R. and PICARD, J. (1954). Eléments de bionomie marine sur les côtes de Tunisie. Bull. Stat. Océanogr. Salammbô, 48:1-47.
- MUNICIPALITE DE SFAX (1993). Le Plan Directeur des Transports du Grand Sfax. SIDES-ETAU-BCEOM, Rapport de Synthèse.
- NAJAI, S. (1983). Contribution à l'Etude de la Biologie des Espèces des Céphalopodes de Tunisie: Application à l'Espèce *Sepia officinalis* Linné, 1758. Thèse 3e cycle Fac. Sci. de Tunis.
- PALUTIKOF, J.P., GUO, X., WIGLEY, T.M.L. and GREGORY, J.M. (1992). Regional Changes in Climate in the Mediterranean Basin due to Global Greenhouse Gas Warming. MAP Technical Reports Series No. 66. UNEP, Athens.
- PÉRÈS, J. M. and PICARD, J. (1964). Nouveau manuel de bionomie benthique de la mer Méditerranée. Recueil des Travaux de la Station Marine d'Endoume, Bull. 31(47):5-214.
- POIZAT, C. (1970). Hydrodynamisme et sédimentation dans le golfe de Gabès (Tunisie). Tethys, 2(1):267-296.
- RAUNKIAER, C. (1934). Life Forms and Statical Plant Geography. Clarendon Press, Oxford. 632pp. + 189 photos + figure.
- REVUE TUNISIENNE DE L'ENERGIE. No. 29 (1993)
- RGPH (1975). Recensement Général de la Population et de l'Emploi, 1975. Institut National de Statistiques.

- RGPH (1984). Recensement Général de la Population et de l'Emploi, 1984. Institut National de Statistiques.
- RGPH (1994). Recensement Général de la Population et de l'Emploi, 1994. Institut National de Statistiques.
- SAIDI, H. (1976). La Grêle en Tunisie. Institut National de Météorologie, Tunis. 117pp.
- SARBEGI, M. (1991). Contribution à l'Etude de l'Impact des Rejets Industriels et Urbains sur l'Environnement Marin de la Région de Sfax. Essais de Traitements. D.E.A., Université de Tunis, 2:139pp
- SEURAT, L. G. (1929). Observations sur les limites, les faciès et les associations animales de l'étage intercotidal de la petite Syrte (golfe de Gabès). Bull. Stat. Océanogr. Salammbô, 3:1-72 + 1 carte.
- SEURAT, L. G. (1929). Observations nouvelles sur le faciès et les associations animales de l'étage intercotidal de la petite Syrte (golfe de Gabès). Bull. Stat. Océanogr. Salammbô, 12.
- SEURAT, L. G. (1934). Formations littorales et estuaires de la Syrte Mineure (golfe de Gabès). Bull. Stat. Océanogr. Salammbô, 32:1-65.
- SORETRAS-IRT-GES (1985). Enquête Ménages sur la Mobilité à Sfax en 1984. Rapport avril 1985.
- ZAOUALI, J. (1992). Présence d'*Eucreate crenata* dans le golfe de Gabès (Crustacea, Decapoda, Brachyura). Vie Marine, 2(1).
- ZAOUALI, J. (1993). Les peuplements benthiques de la petite Syrte, golfe de Gabès, Tunisie: Résultats de la campagne de prospection du mois de juillet 1990 - Etude préliminaire: biocoenoses et thanatocoenoses récentes. Mar. Life, 3(1-2):47-60.
- ZEBIDI, A. (1989). Hydrogéologie de la Nappe Profonde de Sfax. Rapport, DRE, Tunis. 27pp.
- ZOUARI, K. and MALIKI, M.-Y. A. (In preparation). Etude hydrochimique et isotopique de la nappe profonde de Sfax.

ANNEX I

MEMBERS OF THE WORKING GROUP

1. National Members

Mr. K. ZOUARI - *National Co-ordinateur*

Ecole Nationale d'Ingénieurs de Sfax (ENIS), B.P. "W", 3038 Sfax, Tunisie

Mr. J. BOUZID

Ecole Nationale d'Ingénieurs de Sfax (ENIS), B.P. "W", 3038 Sfax, Tunisie

Mr. A. BOUSNINA

Faculté des Lettres et des Sciences humaines, Bd. 9 Avrii, Tunis, Tunisie

Mr. Med. CHAYEB

Faculté des Sciences de Sfax, Route de Soukra, 3038 Sfax, Tunisie

Mr. N KARRAY

Faculté des Lettres et des Sciences humaines de Sfax, Route de l'Aérodrome, km 4,5; Sfax, Tunisie

Mr. N. BRADAI

Institut National Scientifique et Technique d'Océanographie et de Pêche (INSTOP)

Av. Med H. Khefacha, 3092 Sfax, Tunisie

2. UNEP Expert

Mr. M. KH. EL-SAYED

Faculty of Science, Alexandria University, Egypt

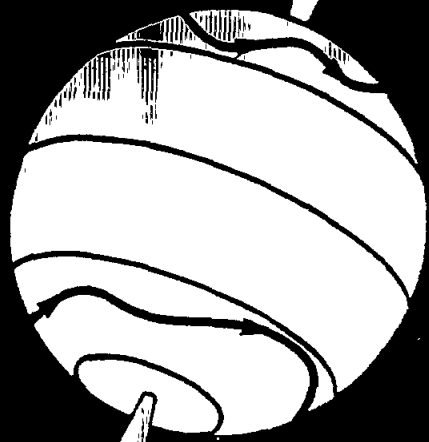
ANNEX II

**EAST ANGLIA EXAMPLE USED IN THIS STUDY
FOR THE MALTA REGION**

**TEMPERATURE AND PRECIPITATION SCENARIOS
FOR THE MALTA REGION
DEVELOPED BY THE UNIVERSITY OF EAST ANGLIA AND USED IN THIS STUDY**

**Report to the UNEP Coordinating Unit
for the Mediterranean Action Plan**

January 1992



TEMPERATURE AND PRECIPITATION SCENARIOS FOR THE
MALTA REGION

Report to the UNEP Co-ordinating Unit for the
Mediterranean Action Plan

January 1992

CLIMATIC RESEARCH UNIT
School of Environmental Sciences
University of East Anglia
Norwich, NR4 7TJ
England

**TEMPERATURE AND PRECIPITATION SCENARIOS FOR THE
MALTA REGION**

**Report to the UNEP Co-ordinating Unit for the
Mediterranean Action Plan**

**(in alphabetical order)
X. Guo, J.P. Palutikof and T.M.L. Wigley**

**Climatic Research Unit
School of Environmental Sciences
University of East Anglia
Norwich NR4 7TJ
U.K.**

January 1992

TABLE OF CONTENTS

Summary	1
1. The Use of GCMs in Regional Scenario Development	2
2. Construction of Sub-grid-scale Scenarios	3
3. Climate Change Scenarios for the Malta Region	6
4. Conclusions	13
References	14
Appendix 1 - Stations Used in Scenario Construction for the Malta region	15

Figures

1	Regional climate scenarios for the Malta region: annual	8
2	Regional climate scenarios for the Malta region: winter	9
3	Regional climate scenarios for the Malta region: spring	10
4	Regional climate scenarios for the Malta region: summer	11
5	Regional climate scenarios for the Malta region: autumn	12

Table

1	Precipitation changes over Malta, as predicted by composite GCM scenarios (% per °C global temperature increase)	7
---	--	---

SUMMARY

We have applied the methods developed by Kim et al. (1984) and Wigley et al. (1989) to the problem of constructing sub-grid-scale climate change scenarios for the area surrounding Malta. Regression equations were developed to predict station temperature and precipitation anomalies from regionally-averaged climate anomalies. We proceeded to substitute GCM perturbed-run minus control-run values of temperature and precipitation in the regression equations to obtain a prediction of the change due to the greenhouse effect at each station. The results were scaled by the equilibrium temperature of each of the four GCMs and an average for the four models obtained. The procedure was repeated for every station in the data set, and the results contoured to produce a scenario for the Malta region.

Annual and seasonal scenarios for both temperature and precipitation change were produced. For temperature, the annual change around Malta should be slightly less than the global change (around 0.8-0.9°C per degree global change). At the seasonal level, the largest increase is found in summer, when the temperature should rise slightly more than the global change. In the other three seasons the temperature response is less than the global mean change. The lowest value for the Malta region is in spring (0.8°C per degree global change).

The scenarios for precipitation are much more difficult to evaluate. This is particularly the case as we have been unable to generate a sub-grid-scale scenario for the summer perturbation. The available scenarios indicate that there will be no change in precipitation at the annual level. Winter and spring are shown to have lower precipitation, whereas in autumn rainfall should increase.

We have attempted to evaluate conditions in summer by examining the composite GCM scenarios presented in the Final Report. These indicate that there will be little if any change in summer rainfall around Malta due to the enhanced greenhouse effect. However, for the other seasons and for the year as a whole the composite GCM scenarios are not compatible with the sub-grid-scale scenarios. The problems associated with the construction of regional scenarios of precipitation change associated with the enhanced greenhouse effect are discussed at length in the Final Report for the UNEP Mediterranean Project. The confidence that we can place in these scenarios of precipitation is low.

1. THE USE OF GCMS IN REGIONAL SCENARIO DEVELOPMENT

It is generally accepted that the results from General Circulation Models (GCMs) offer the best potential for the development of regional climate scenarios. They are the only source of detailed information on future climates which can extrapolate beyond the limit of conditions which have occurred in the past.

GCMs are complex, computer-based, models of the atmospheric circulation which have been developed by climatologists from numerical meteorological forecasting models. The standard approach is to run the model with a nominal "pre-industrial" atmospheric CO₂ concentration (the control run) and then to rerun the model with doubled (or sometimes quadrupled) CO₂ (the perturbed run). In both, the models are allowed to reach equilibrium before the results are recorded. This type of model application is therefore known as an equilibrium response prediction.

The fact that the GCMs are run in equilibrium mode must in itself be regarded as a potential source of inaccuracy in model predictions. It can be argued that the predicted regional patterns of climate change will differ from those that will occur in a real, transient response world. This is because equilibrium results ignore important oceanic processes, not least ocean current changes, differential thermal inertia effects between different parts of the oceans and between land and ocean, and changes in the oceanic thermohaline circulation. Transient response predictions, where the CO₂ concentration increases gradually through the perturbed run and where the oceans are modelled using ocean GCMs, and which therefore should provide a more realistic estimate, are becoming available. However, the complexity of the problem in relation to present-day computing capability casts doubt on the reliability of the results, and this is likely to remain the case over the next decade. The present study restricts itself, therefore, to the use of results from equilibrium GCM experiments.

The results from four GCMs developed for climate studies are used in this report. These four are from the following research institutions:

UK Meteorological Office (UKMO)
Goddard Institute of Space Studies (GISS)
Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL)
Oregon State University (OSU)

The models vary in the way in which they handle the physical equations describing atmospheric behaviour. UKMO, GISS and OSU solve these in grid-point form whereas GFDL uses a spectral method. All models have a realistic land/ocean distribution and orography (within the constraints of model resolution); all have predicted sea ice and snow; clouds are calculated in each atmospheric layer in all models.

One problem with the application of GCMs to the study of climate impacts is the coarse resolution of the model grid. The grid scale of the four models listed above ranges from 4° latitude x 5° longitude (OSU) to 7.83° latitude x 10° longitude (GISS). GCMs, therefore, have a spatial resolution of several hundreds of kilometres, which is inadequate for many regional climate change studies, especially in areas of high relief. We present here a set of high resolution scenarios for the north-eastern Mediterranean, based on the statistical relationship between grid-point GCM data and observations from surface meteorological stations.

2. CONSTRUCTION OF SUB-GRID-SCALE SCENARIOS

Kim et al. (1984) looked at the statistical relationship between local and large-scale regionally-averaged values of two meteorological variables: temperature and precipitation. They then used these relationships, developed using principal component analysis techniques, to look at the response of local temperature and precipitation to the predicted change at GCM grid points. The area of study was Oregon State. Although the paper contains certain statistical flaws, the underlying idea of relating local and large-scale data statistically is sound. The method of Kim et al. has been extended and refined by Wigley et al. (1990) and by Wilks (1989).

The methods of Kim et al. and Wigley et al. have been modified for application in the Mediterranean region. In the model validation exercise carried out for the Mediterranean Project (see Final Report) it was established that no single GCM can be identified as being always the best at simulating current climate. This being the case, there is little merit in presenting scenarios based on only one model. Presentation of scenarios for each of the four models avoids the issue, since the task of deciding which model is 'best', and/or of synthesizing the information to obtain a best estimate, is left to the impact analyst. We have therefore combined the information from the four models into a single scenario for each variable, according to the method described below.

The problem with presenting the scenarios in this form is that the results may be biased by the different equilibrium responses of the individual models. The global warming due to $2\times\text{CO}_2$ for the four GCMs ranges between 2.8°C for the OSU model and 5.2°C for the UKMO model run. We would therefore expect that the warming indicated by the UKMO GCM for the Mediterranean Basin will be greater than that suggested by the OSU model, even though the sensitivity of the region to climate change when compared to the global sensitivity might be the same. The individual model perturbations have therefore been standardized by the equilibrium (global annual) temperature change for that model, prior to the calculation of the four-model average.

We required a generalized computer program that would be applicable throughout this geographically complex area, and could be used with meteorological records of variable length and density. After investigating a number of approaches to the problem, we adopted the procedure summarized below:

1. Data sets of monthly mean temperature and total precipitation have been compiled for the area surrounding the Mediterranean Basin. Stations used in this study of the Malta region are listed in Appendix 1. Where possible, each record should be complete for the period 1951-88. Any station with a record length less than 20 years in the period 1951-88 for over six months out of twelve was immediately discarded.
2. Then, for every valid station, the temperature and precipitation anomalies from the long-term (1951-88) mean were calculated. For this part of the work, which is the first step in the construction of the regression equations (the calibration stage), only the data for 1951-80 were used. The 1981-88 data were retained to test the performance of the regression models (the verification stage, see Final Report). For the calculation of the temperature anomaly A_{tjj} , the simple difference was used:

$$At_{ij} = t_{ij} - T_j$$

where t_{ij} is the mean temperature of month j in year i , and T_j is the long-term mean for month j . The precipitation anomaly Ap_{ij} was expressed as a ratio of the long-term mean:

$$Ap_{ij} = (p_{ij} - P_j) / P_j$$

where p_{ij} is the monthly total precipitation in month j of year i , and P_j is the long-term mean for that month. If P_j is less than 1mm, then this equation is modified to:

$$Ap_{ij} = (p_{ij} - P_j) / 1.0$$

3. The individual station anomalies are used to calculate regionally-averaged anomalies. The procedures described from here to the end of Point 6 are station-specific, and must be repeated for each station in the data set.

A 5° latitude x 5° longitude square is centred over the station for which regression equations are to be developed (the predicted station). All the stations which fall within this square are used to calculate the regional averages. If the number of stations is less than three, for temperature, or four, for precipitation, the procedure is halted. For temperature, the anomalies from all stations in the 5° x 5° square are averaged month-by-month to produce an area-average time series. For precipitation, the substantial degree of spatial variability makes it advisable to area-weight the station anomalies before calculating the regional mean for each month. To do this, the 5° x 5° region is divided into 20 x 20 smaller squares. The precipitation anomaly value assigned to a particular square is that of the station nearest to it (with the restriction that the distance separating a square from its nearest station should be no greater than 1° - where the distance is greater the square is ignored). The area average is then the mean of the values in the 400 (or fewer, if any fail the minimum distance criterion) squares. This method is similar to the standard Thiessen polygon method.

4. Regression analyses were performed using station temperature and precipitation anomalies as the predictands. These analyses were carried out on an annual and seasonal basis: winter (December, January, February), spring (March, April, May), summer (June, July, August) and autumn (September, October and November). By considering the monthly values as separate observations within each season, we were able to extend the number of observations and so preserve a high number of degrees of freedom. The predictor variables are the regionally-averaged anomalies of temperature and precipitation.
5. In order to determine the perturbation due to the greenhouse effect at each station, the results from GCMs were employed. It is assumed that a GCM grid-point temperature or precipitation value is equivalent to a regionally-averaged value derived from observational data. For each of the four GCMs (GFDL, GISS, OSU and UKMO), the perturbed run and control run grid-point temperature (t) and precipitation (p) values are interpolated to the station position. Then, we obtain, for temperature:

$$Atm_j = t_j(2 \times CO_2) - t_j(1 \times CO_2)$$

where Atm_j is the perturbation due to CO_2 or the 'temperature anomaly' for model i and, for precipitation:

$$Ptm_j = [p_j(2 \times CO_2) - p_j(1 \times CO_2)] \times 100/p_j(1 \times CO_2)$$

where Ptm_j is the standardized perturbation due to CO_2 or the 'precipitation anomaly'.

The values for Atm_j and Ptm_j for each GCM are then substituted in the regression equations to obtain a prediction for the station perturbation of temperature ($^{\circ}C$) and precipitation (%) due to CO_2 .

6. The predicted change in temperature and precipitation for each model is divided by the equilibrium (global mean) temperature change for that model. The results are then averaged across the four models to obtain a composite value.
7. The procedures from Points 3 to 6 is repeated for each station throughout the Mediterranean. The results can then be plotted and contoured to obtain a map of the expected patterns of temperature and precipitation change due to the greenhouse effect.

In order to arrive at this procedure, a rigorous investigation of the validity of the method has been carried out. In particular, we have looked at:

- the use of other predictor variables in the regression equations
- performance and verification of the regression equations
- autocorrelation in the data
- multicollinearity in the predictor variables

These aspects are discussed in detail in the Final Report.

3. CLIMATE CHANGE SCENARIOS FOR THE MALTA REGION

The sub-grid-scale scenarios, constructed according to the method outline in Section 2, are shown in Figs. 1-5. The temperature perturbations are presented as the model average change, in degrees Celsius, per °C global annual change. The precipitation perturbations are shown as the percentage change for each 1°C global annual change. This procedure is described in greater detail, and the approach justified, in Section 2.

The problem with expressing the scenarios in this form is then to scale the values up (or down) in relation to some realistic estimate of the temperature perturbation to be expected from the greenhouse effect. The IPCC Report (Houghton et al., 1990) provides one such family of estimates. For their Business-as-Usual scenario of emissions, the likely increase of global mean temperature by the year 2050 is predicted to be about 1°C above the present level. By the end of next century, the increase is estimated at 3°C above present-day. On this basis, the temperature and precipitation scenarios for the Malta region presented in this report can be related directly to changes between now and the year 2050.

The scenarios for changes at the annual level are presented in Fig. 1. For the whole of the area, the temperature response is indicated to be less than the global mean change i.e. less than 1°C. Around Malta itself, the change is in the region 0.8-0.9°C per degree global change. The precipitation scenarios indicate that, at the annual level, there will be little if any change in rainfall amounts around Malta.

The seasonal maps are presented in Figs. 2-5. In all seasons the temperature change around Malta is close to the global value (i.e. 1°C per degree global change). The greatest change is seen in summer (the months of June, July and August, shown in Fig. 4). In this season, temperatures should rise by slightly more than the global increase. In the other three seasons, the temperature change around Malta is less than the global response. However, it never falls below 0.8°C per degree global change.

Precipitation maps are only presented for three seasons: winter (Fig. 2), spring (Fig. 3) and autumn (Fig. 4). No prediction could be made by this method for the summer season because the correlations between the regionally-averaged climate predictors and the station precipitation time series fall below the cut-off value of 0.7 (see Section 4.2.3 of the Final Report for a full explanation). A reduction in precipitation is indicated for the winter season around Malta, of around 9% per degree global change (Fig. 2). Spring precipitation (Fig. 3) also shows a decline, by between 12 and 15% per degree global change. Lower rainfall in these two seasons is offset by a substantial increase in the autumn, of around 14% per degree global change.

Two problems arose in the construction of the sub-grid-scale scenarios for Malta:

1. We were not able to use data from the Maltese meteorological station, Luqa Airport, in the scenario construction. As noted in Section 2, the method requires that there should be at least three stations, for temperature, and four stations, for precipitation, in a 5° x 5° square surrounding the station for which the regression equations are to be developed. Luqa Airport fails to meet this criterion. Although the size of the square could be enlarged to encompass the necessary number

of stations for the calculation of regionally-averaged climate time series, this would throw doubt on the validity of the results. The scenarios presented here were generated by interpolating the results from stations with the requisite number of surrounding stations over the Malta region.

2. No precipitation scenario for Malta in the summer season could be constructed by the method used here. This means that the scenario of annual changes in precipitation is in fact representative of only nine months of the year.

In order to partially overcome the problem created by the lack of a summer rainfall scenario, we can use the results from the composite GCM scenarios presented in Chapter 3 of the Final Report. These scenarios are constructed by first mapping the output from the four GCMs onto a common grid, size 5° latitude by 10° longitude. A standardized precipitation change for each grid point is then calculated, expressed as the percentage change per °C global-mean warming. By interpolating between the grid points, maps were presented in the Final Report for the whole Mediterranean Basin. We have extracted from these maps the relevant values for the Malta region, and these are shown in Table 1.

It can be seen that the predictions from the composite GCM scenarios for precipitation change are slightly different from those indicated by the sub-grid-scale scenarios. This is not surprising in view of the low degree of confidence associated with regional precipitation scenarios. At the annual level, a slight increase in precipitation is suggested, which is reflected in higher precipitation in the spring and autumn seasons. Winter and summer are shown to have no change in their precipitation amounts.

Table 1 Precipitation changes over Malta, as predicted by composite GCM scenarios (% per °C global temperature increase)

Annual	1% increase
Winter	No change
Spring	1% increase
Summer	No change
Autumn	3% increase

Fig. 1 Regional climate scenarios for the Malta region: annual. Temperature in units of °C per degree global change; precipitation in units of % per degree global change.

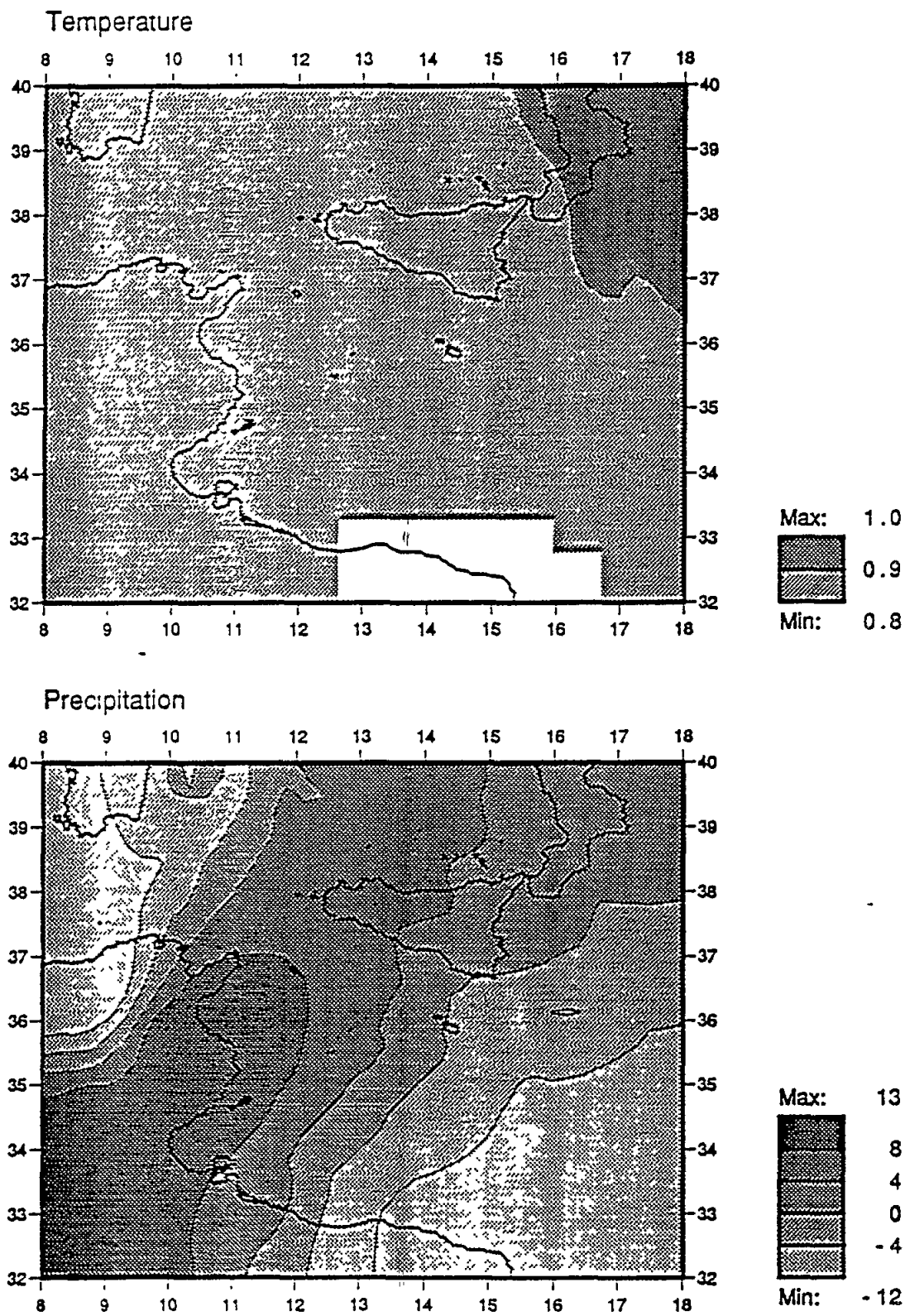


Fig. 2 Regional climate scenarios for the Malta region: winter. Temperature in units of °C per degree global change; precipitation in units of % per degree global change.

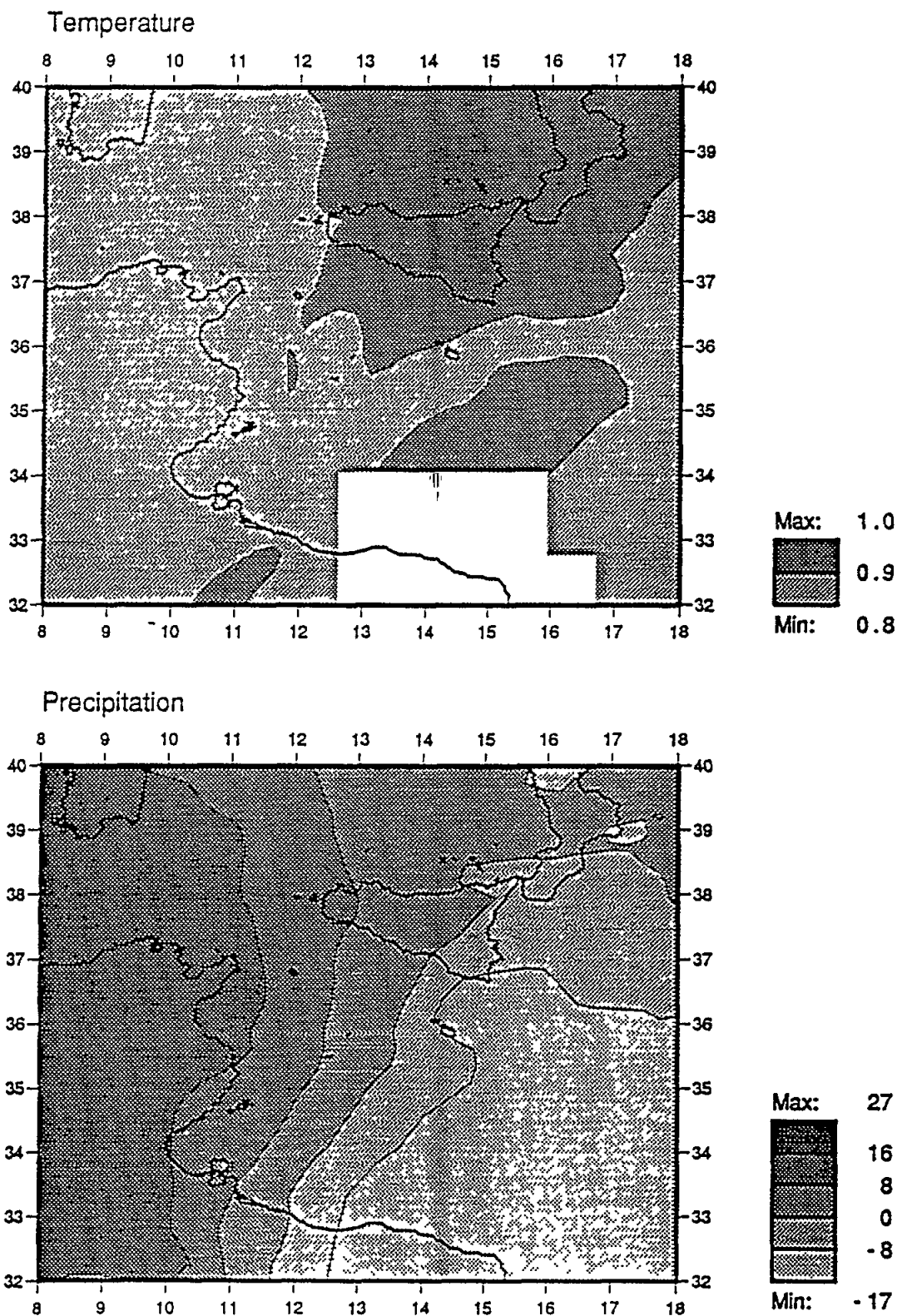


Fig. 3 Regional climate scenarios for the Malta region: spring. Temperature in units of °C per degree global change; precipitation in units of % per degree global change.

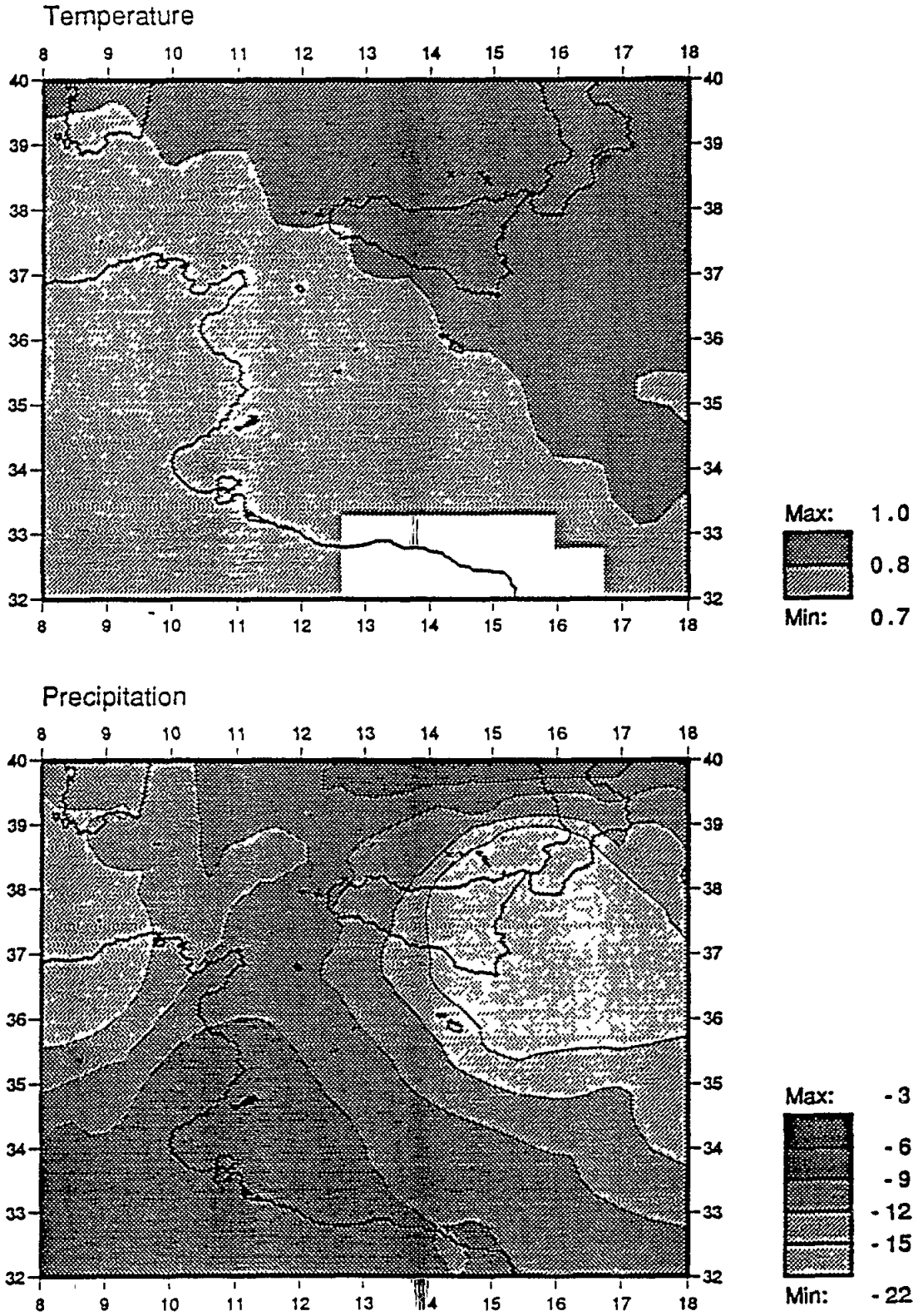


Fig. 4 Regional climate scenarios for the Malta region: summer. Temperature in units of °C per degree global change; precipitation in units of % per degree global change.

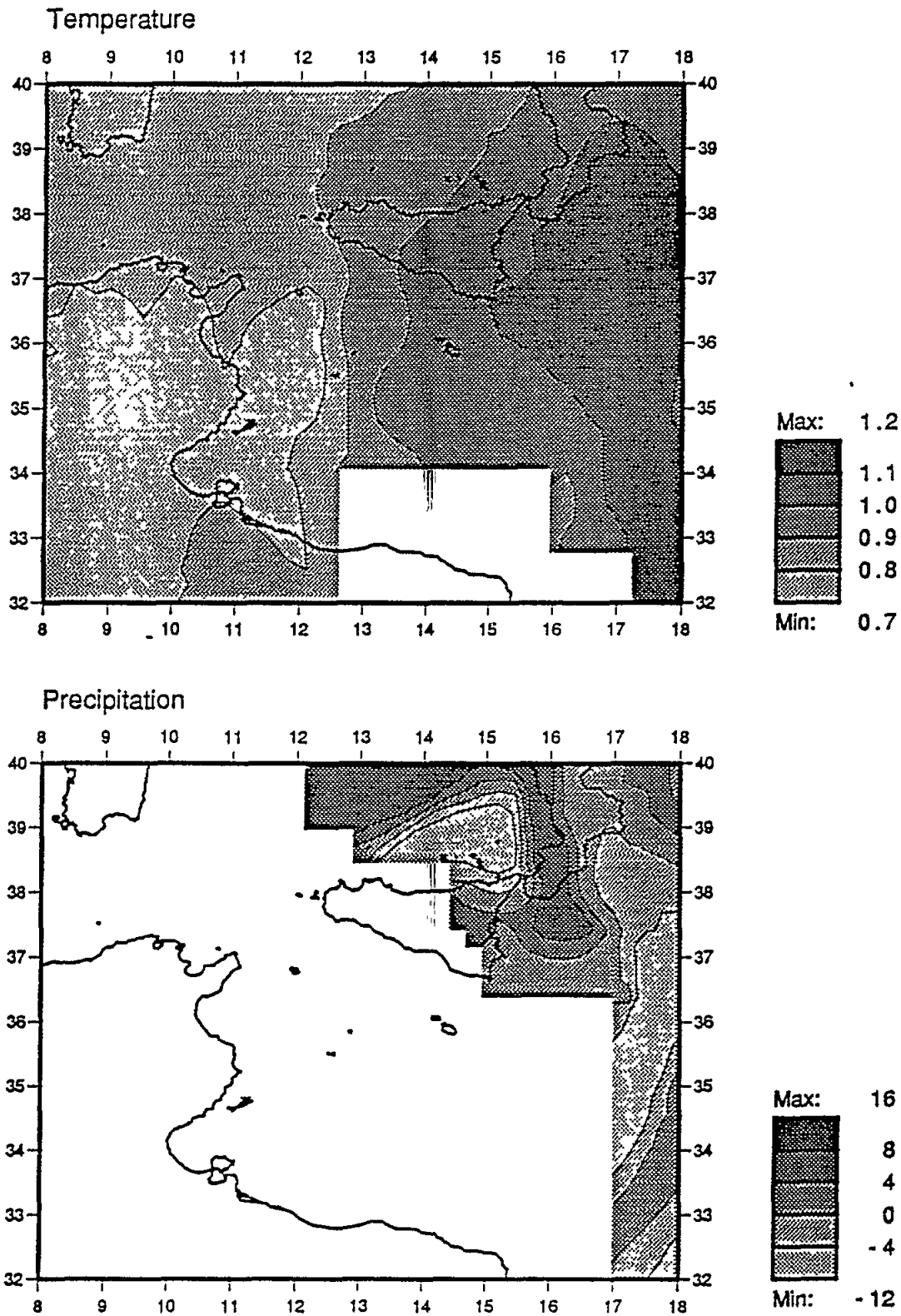
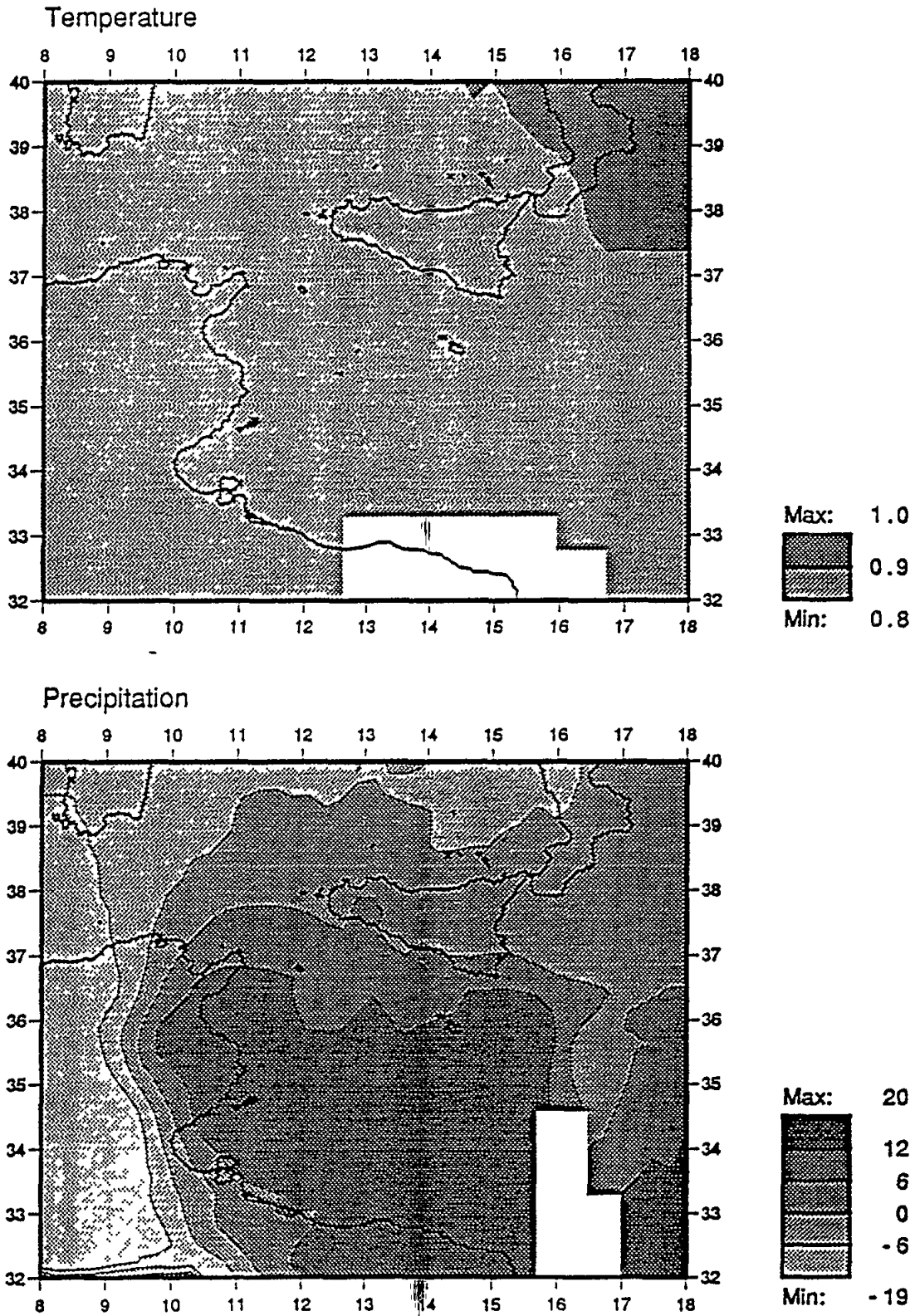


Fig. 5 Regional climate scenarios for the Malta region: autumn.
Temperature in units of °C per degree global change;
precipitation in units of % per degree global change.



4. CONCLUSIONS

We have applied the methods developed by Kim et al. (1984) and Wigley et al. (1989) to the problem of constructing sub-grid-scale climate change scenarios for the Malta region. Regression equations were developed to predict station temperature and precipitation anomalies from regionally-averaged climate anomalies. We proceeded to substitute GCM perturbed-run minus control-run values of temperature and precipitation in the regression equations to obtain a prediction of the change due to the greenhouse effect at each station. The results were scaled by the equilibrium temperature of each of the four GCMs and an average for the four models obtained. The procedure was repeated for every station in the data set, and the results contoured to produce a scenario.

Annual and seasonal scenarios for both temperature and precipitation change were produced. For temperature, the annual change around Malta should be slightly less than the global change (around 0.8-0.9°C per degree global change). At the seasonal level, the largest increase is found in summer, when the temperature should rise slightly more than the global change. In the other three seasons the temperature response is less than the global mean change. The lowest value for the Malta region is in spring (0.8°C per degree global change).

The scenarios for precipitation are much more difficult to evaluate. This is particularly the case as we have been unable to generate a sub-grid-scale scenario for the summer perturbation. The available scenarios indicate that there will be no change in precipitation at the annual level. Winter and spring are shown to have lower precipitation, whereas in autumn rainfall should increase.

We have attempted to evaluate conditions in summer by examining the composite GCM scenarios presented in the Final Report. These indicate that there will be little if any change in summer rainfall around Malta due to the enhanced greenhouse effect. However, for the other seasons and for the year as a whole the composite GCM scenarios are not compatible with the sub-grid-scale scenarios. The problems associated with the construction of regional scenarios of precipitation change associated with the enhanced greenhouse effect are discussed at length in the Final Report for the UNEP Mediterranean Project. The confidence that we can place in these scenarios of precipitation is low.

REFERENCES

- Houghton, J.T., Jenkins, G.J. and Ephraums, J.J., (eds.), 1990: *Climate Change: the IPCC Scientific Assessment*. Cambridge University Press, Cambridge, U.K.
- Kim, J.M., Chang, J.T., Baker, N.L., Wilks, D.S. and Gates, W.L., 1984: The statistical problem of climate inversion: determination of the relationship between local and large-scale climate. *Monthly Weather Review*, 112, 2069-2077.
- Wigley, T.M.L., Jones, P.D., Briffa, K.R. and Smith, G., 1990: Obtaining sub-grid-scale information from coarse-resolution GCM output. *Journal of Geophysical Research*, 95 (D2), 1943-1953.
- Wilks, D.S., 1989: Statistical specification of local surface weather elements from large-scale information. *Theoretical and Applied Climatology*, 40, 119-134

APPENDIX 1

STATIONS AVAILABLE FOR USE IN SCENARIO CONSTRUCTION FOR THE MALTA REGION

Note that not all these stations will necessarily be used in the final scenario construction. They must first fulfill the criteria for acceptance laid down in Section 2 of this report, and in the Final Report.

ALBANIA

Station	E	N	HT	PRN	TEM	P%	T%
1. SHKODRA	19.5	42.1	43	1951-1970	1951-1970	100	100
2. TIRANA	19.8	41.3	89	1951-1970	1951-1970	100	100
3. VLORA	19.5	40.5	1	1951-1970	1951-1970	100	100

ALGERIA

Station	E	N	HT	PRN	TEM	P%	T%
4. SKIKDA	7.0	36.9	9	1967-1989	1966-1986	52	76
5. ANNABA	7.8	36.8	4	1963-1989	1963-1986	62	94
6. BEJAIA	5.0	36.8	22	1969-1989	1969-1974	38	81
7. CONSTANTINE	6.6	36.3	704	1951-1989	1967-1986	75	100
8. BISKRA	5.7	34.8	81	1951-1989	1951-1986	65	88
9. TOUGGOURT	6.0	33.1	85	1951-1989	-	37	0
10. QUED	6.9	33.3	63	1951-1989	-	62	0
11. OUARGLA	5.4	31.9	141	1951-1972	1963-1971	95	87
12. BATNA	6.3	35.6	n/a	1972-1986	1972-1986	100	100

FRANCE

Station	E	N	HT	PRN	TEM	P%	T%
13. AJACCIO	8.8	41.9	5	1951-1989	1951-1988	99	100
14. BASTIA	9.4	42.7	n/a	1961-1985	1961-1985	100	100

GREECE

Station	E	N	HT	PRN	TEM	P%	T%
15. KERKYRA	19.9	39.6	2	1951-1989	1951-1988	96	96
16. YANENA	20.7	39.6	n/a	1956-1987	-	100	0
17. ZAKYNTHOS	20.9	37.8	8	1951-1982	1951-1982	79	79

ITALY

Station	E	N	HT	PRN	TEM	P%	T%
18. PESCARA	14.2	42.4	9	1961-1989	1961-1980	97	100
19. ROME	12.2	41.8	2	1951-1989	1951-1988	98	99
20. NAPOLI	14.3	40.9	88	1961-1987	1961-1987	99	99
21. BRINDISI	18.0	40.7	15	1961-1989	1961-1980	98	100
22. MARINA	16.9	40.4	12	1967-1989	1967-1980	96	95
23. MESSINA	15.6	38.2	51	1961-1989	1961-1980	98	100
24. TRAPANI	12.5	37.9	79	1961-1989	1961-1980	98	100
25. CATANIA	15.1	37.5	65	1961-1987	1961-1987	98	99
26. ALGHERO	8.3	40.6	23	1961-1989	1961-1985	79	99

27. CAGLIARI	9.1	39.3	18	1951-1989	1951-1988	98	99
28. AVEZZANO	13.6	42.0	n/a	1951-1970	-	100	0
29. GROSSETO	11.1	42.8	5	1961-1985	1961-1985	99	100
30. CAMPOBASSO	14.7	41.6	793	1961-1985	1961-1985	99	99
31. BARI	16.8	41.1	34	-	1961-1985	0	99
32. POTENZA	15.8	40.6	823	1961-1985	1961-1973	99	96
33. CROTONE	17.1	39.0	155	-	1961-1985	0	99
34. PALERMO	13.1	38.2	21	-	1961-1985	0	99

LIBYA

Station	E	N	HT	PRN	TEM	P%	T%
35. NALUT	11.0	31.9	620	1951-1988	1954-1960	98	94
36. BENI-WALID	14.0	31.8	n/a	1951-1989	1951-1960	67	92
37. MIZDA	13.0	31.5	n/a	1951-1988	1951-1960	95	92
38. ZUARA	12.1	32.9	3	1951-1988	1954-1988	98	70
39. GHARIAN	13.0	32.2	n/a	1951-1988	1951-1960	96	94
40. HOMS	14.2	32.6	n/a	1951-1989	1951-1960	92	94
41. TRIPOLI	13.2	32.7	84	1951-1989	1951-1988	90	91
42. MISURATA	15.1	32.4	6	1951-1988	1954-1988	100	93
43. TUMMINA	15.1	32.2	n/a	1951-1989	1951-1960	36	94
44. SIRTE	16.6	31.2	22	1951-1988	1954-1988	98	65
45. BENINA	20.3	32.1	132	1951-1989	1951-1988	85	88
46. BENGHAZI	20.0	32.1	10	1951-1973	1985-1988	100	100
47. AGEDABIA	20.2	30.7	n/a	1951-1988	1954-1988	99	60
48. HON	16.0	29.1	261	1954-1988	1954-1988	94	75
49. GHADAMES	9.5	30.1	n/a	1951-1988	1969-1988	91	96

MALTA

Station	E	N	HT	PRN	TEM	P%	T%
50. LUQA	14.5	35.9	80	1951-1989	1951-1988	96	99

TUNISIA

Station	E	N	HT	PRN	TEM	P%	T%
51. TUNIS	10.2	36.8	3	1951-1988	1951-1988	100	97
52. JENDOUBA	8.8	36.5	143	1951-1988	1964-1974	100	95
53. KAIROUAN	10.1	35.7	60	1951-1988	1964-1974	100	95
54. GAFSA	8.8	34.4	313	1951-1988	1964-1974	100	93
55. SFAX	10.7	34.7	21	1951-1988	-	100	0
56. GABES	10.1	33.9	4	1951-1988	1951-1974	100	95
57. DJERBA	10.6	33.8	0	1951-1988	-	100	0
58. MEDENINE	10.3	33.3	117	1951-1972	-	100	0
59. AIN-DRAHAM	8.7	36.8	739	1951-1988	-	100	0

YUGOSLAVIA

Station	E	N	HT	PRN	TEM	P%	T%
60. ULCINJ	19.2	41.9	30	1951-1980	1951-1980	100	100
61. TITOGRAD	19.3	42.4	33	1951-1989	1951-1988	97	98

E - latitude

N - longitude
HT - height above sea level (m)
PRN - length of precipitation record
TEM - length of temperature record
P% - percentage of precipitation record present
T% - percentage of temperature record present

ANNEX III

QUALITY CONTROL OF CLIMATIC DATA USED IN THE PRESENT STUDY

Any study of climate changes must be based on data that have been rigorously controlled. During this study the application of several quality-control procedures (statistical and graphical) has allowed a number of important errors of diverse origins to be detected.

1. The errors

Eight hundred and forty errors were identified for the temperature data alone. They were of various types. A generic error typology showed that there were seven (7) major types of error (Figure 12. in the text).

1.1. Type "A" errors: incomplete observations

There were 210, or 25% of the total number of errors. Consultation of original monthly climatological tables showed that the temperature values were often determined for a number of days well below 30. Thus, in August 1958, the observations were only assured during 14 days. Therefore, the mean maximum (33.1°C) and minimum (21.3°C) temperature were discarded, as was the mean maximum for June 1915 (29.0°C).

At the neighbouring station of El-Jem, there was also the example of September 1921 in which the meteorological observations were only assured from 22nd to 30th of the month (9 observations in all). Therefore, the values of 30.0°C et 35.0°C representing, respectively, the maximum mean and absolute maximum temperatures were rejected.

1.2. Type "B" errors

If a month has an incomplete record and the gaps are filled by values from another station, this constitutes a type "B" error. Errors of this type are however not numerous: 28 cases recorded, or 3.3% of the total. Good examples of this type of error are to be found in the mean daily maxima for May (23.6°C) and June (25.6°C) 1946, as well as the absolute maximum for November 1921 (28.0°C), March 1922 (25.0°C), January (11.0°C) and February 1940 (11.1°C).

1.3. Type "C" errors: "fictitious" gaps

In contrast to real gaps, which correspond to inexistent data and/or unavailable data, there is another type of missing value: "hypothetical" gaps. In effect, the series obtained from the INM show gaps sometimes lasting several years in succession, notably from 1935 to 1941 inclusive, although these "missing" data are to be found in the archives of the BIRH. Consultation of the original records allowed the large gaps to be filled and to reconstitute a good number of values, amounting to 78 in all or 9.3% of the total.

Likewise, gaps declared as such can in fact be obtained directly from the meteorological service itself. In most cases, the gaps arise from means that have not been calculated, hence considered to be inexistent.

1.4. Type "D" errors: errors of reading and/or recording

Thirty-nine reading errors, or 4.6% of the total. Extreme temperatures taken by thermometer may be understated or even overstated.

Regarding absolute maximum temperatures, values have generally been understated. The differences between the real maxima and those published (erroneous) may be as much as several degrees. For example, in May 1915, the absolute maximum recorded was 33.0°C, whereas in fact it did not exceed 29.0°C. At El-Jem, for August 1946, a value of 31.0°C was recorded instead of 40.0°C.

Regarding the absolute minima, the case of October 1937 may be mentioned; a value of 17.0°C was recorded instead of the true value of 11.0°C. More recently, an absolute minimum temperature for March 1957 was recorded as -0.9°C instead of -0.2°C.

The same type of error, but inverse, arose for the minimum absolute temperatures: at Sfax in July 1918, a value of 26.0°C was recorded, instead of 15.0°C (11°C difference)

1.5. Type "E" errors

These are errors of transcription. Although their total number is relatively limited (N = 20; 2.4 per cent), they are of various kinds, especially as regards their origin.

The confusion may arise from a wrongly placed decimal point. For example, December 1918, for which an absolute minimum of 5.0°C was recorded instead of 0.5°C.

An error of transcription may also arise from a complete confusion in the figures. This may be due to poor writing or reading of the value itself. Classical as well as current errors result from a confusion between a 0 and a 9, as happened for the mean maximum temperature for August 1912 when 31.9°C was recorded instead of 31.0°C. A 0 is sometimes mistaken for a 6, as in the case of the mean maximum for March 1936 when 19.0°C was recorded instead of 19.6°C.

Other errors, although rare, arise from a confusion between 2 and 3, as in June 1950 when an absolute maximum of 28.9°C was recorded instead of 38.9°C and again in September 1977 with 27.8°C (absolute maximum) instead of 37.8°C.

The figures 5 and 8 are also confused, as happened in October 1985 when the absolute maximum was recorded as 25.4°C instead of 28.4°C.

Errors of transcription can occur in still another way, by the inversion of the order of the figures, as happened, for example, in October 1911, when the mean daytime maximum temperature was recorded as 28.6°C instead of 26.8°C.

1.6. Type "F" errors

These are errors of computation, hence concerning only the mean maxima and minima. There was a relatively large number of them: 119 errors, or 14.2 per cent of the total number of errors detected. Various examples are given in the following Table.

Temperature data for Sfax: examples of computational errors

Parameter	Year	Month	Erroneous value	Corrected value
Mean max.	1901	March	21,4	16,4
Mean max.	1901	April	23,0	18,9
Mean min.	1901	August	18,9	22,4
Mean max.	1903	March	19,4	16,4
Mean min.	1905	March	10,1	7,1
Mean max.	1910	September	27,3	31,8
Mean min.	1910	September	19,2	16,8
Mean max.	1912	June	28,5	32,9
Mean max	1912	July	32,0	37,5
Mean max	1928	May	29,5	23,5
Mean max	1940	January	17,7	18,6

1.7. Type "G" errors

These are undoubtedly the most serious, and most surprising, type of error. Their occurrence in large numbers in the time-series used, 346 examples, or 41.2 per cent of the total, made it almost impossible to exploit the available data. This type of error reveals, moreover, the weakness of the temperature data initially obtained: and this applies to practically all the Tunisian meteorological stations involved. At Sfax, this type of error arose following the substitution of the original data by other, completely different values. The confusion sometimes concerns whole years of data. In effect, the extreme minimum and maximum temperatures have been completely interchanged for the years 1900-1915, that is, 356 values were thus modified. It is, nevertheless, curious that the mean monthly maximum and minimum temperatures have not been likewise interchanged over the same period. The Sfax station thus carried two different time-series within one logbook. The gravity of the error may be better appreciated if one notices the differences, in °C, between the correct values and the erroneous values. By way of illustration, two examples may be given, one relating to the absolute maximum temperatures, the other, to the extreme minima. In November 1911, the true absolute maximum value of 27.0°C became 36.0°C (9.0°C difference). The absolute minimum temperature recorded for February 1902 was 2.0°C; it was replaced by an imaginary value of -3.0°C.

The identification of the various types of error has therefore been a very important stage in the quality control of the data used. Some elementary but essential corrections have been made, as follows:

- Rectification of errors of recording.
- Correction of errors of computation and of transcription.
- Relocation of data in their proper place, in space (for the stations) and in time (for the month and/or year).

With the elimination of errors there was a substantial improvement in data quality.

2. Homogeneity and homogenisation of the data

The temperature time-series thus comprise two sets of data, one each for the two principal sites that the Sfax station has known: the city of Sfax, for which the data cover the period 1900-1947 (Sfax-1), and the Sfax airport (Sfax-el-Maou) which has provided data, without interruption, since January 1948 (Sfax-2).

The comparison between the temperature values from the two sites gave the results shown in this Annex III).

- The maximum temperatures (means) observed at Sfax-el-Maou (Sfax-2) have, overall, proven superior to those recorded in the city of Sfax (Sfax-1). The only exceptions refer to October and November.
- The differences between the mean maxima from the two sites were small and generally less than 1.0°C. The most significant differences were found in May-August, inclusive, and in October
- For the mean minimum temperatures, the differences observed between the two sites have been systematic. They show that the mean minima for the city of Sfax (Sfax-1) always exceeded those for Sfax-el-Maou (Sfax-2). The urban effect on the temperatures thus seems clear. The differences, which are often superior to 1.0°C, have also proven to be highly significant. In effect, the Student t value ranged from 2.783, for June, to 5.412 for October.
- Some relatively significant differences have also been observed in the variability (Figure 2 in this Annex).

In this regard, two remarks may be made:

- The dispersion in the mean maxima is often superior to that in the mean minima.
- For the maxima, as well as for the minima, the mean temperatures observed in the city of Sfax are noticeably less regular than those recorded at Sfax-el-Maou.

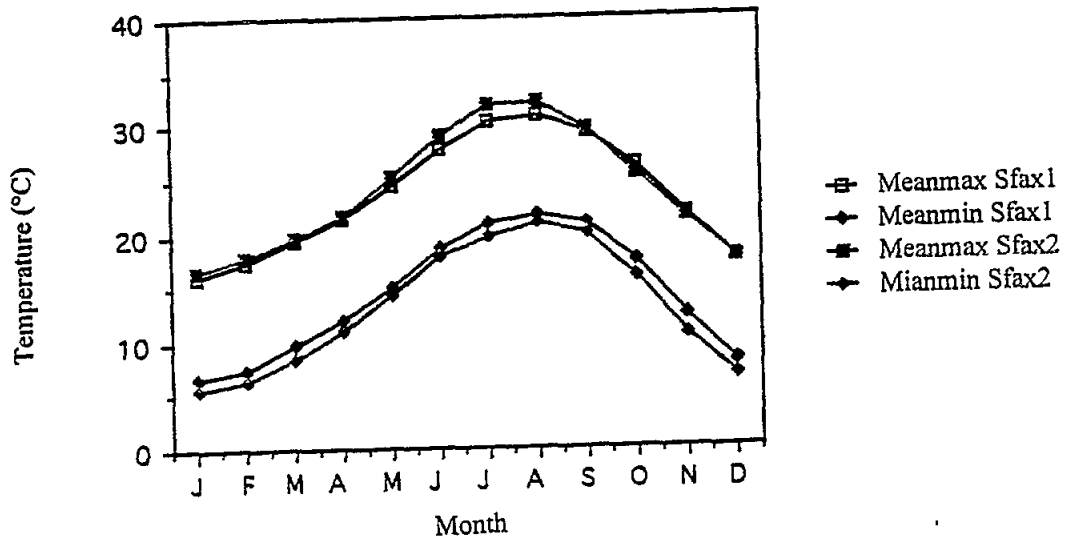


Figure 1. Temperature characteristics of the two Sfax sites

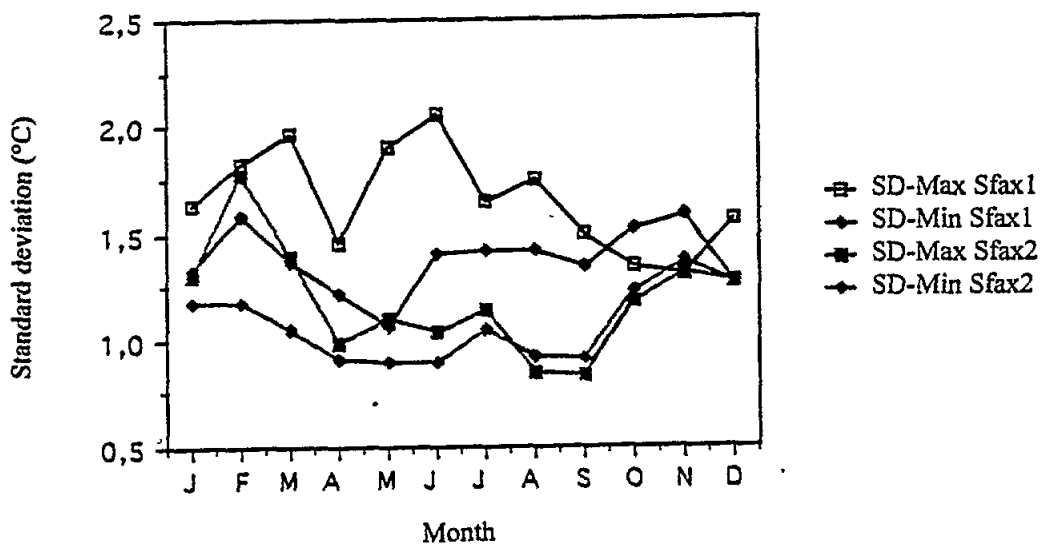


Figure 2. Temperature variation at the two Sfax sites

The differences between the two Sfax sites are statistically highly significant, thus revealing a real cause of the heterogeneity introduced into the two time-series of data. To homogenise these data, a correction is necessary. This correction was applied to the data of Sfax-el-Maou (a shorter time-series than that of the city of Sfax) by applying certain monthly coefficients (see the Table herebelow).

**Correction coefficients applied to daily mean temperatures
for Sfax-el-Maou (1948-1985)**

Month	Maximum daily means	Minimum daily means
September	-0,24	+1,11
October	0,71	+1,69
November	0,20	+1,77
December	-0,02	+1,06
January	-0,41	+1,10
February	-0,55	+1,09
March	-0,27	+1,36
April	-0,04	+1,14
May	-0,73	+0,79
June	-1,36	+0,75
July	-1,49	+1,20
August	-1,24	+0,97

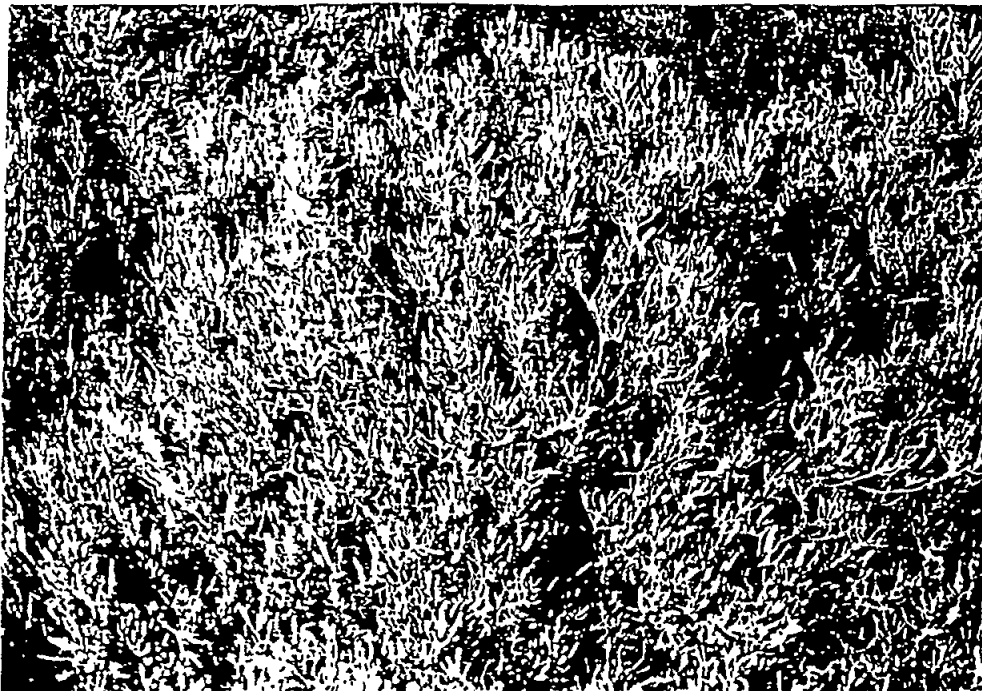
N.B. The values in **boldface** represent the statistically significant differences at the 5% level of probability

Plate 1

Individual plants typical of the spontaneous vegetation in the study area
Climactic vegetation: saline environment



Halophilic vegetation: *Salsola tetrandia* and *Suaeda mollis*
(observe the Thyna lighthouse in the background)



Halophilic vegetation *Limoniastrum monopetalum*

Plate 2

Individual plants typical of the spontaneous vegetation in the study area
Climactic vegetation: saline environment (continued)



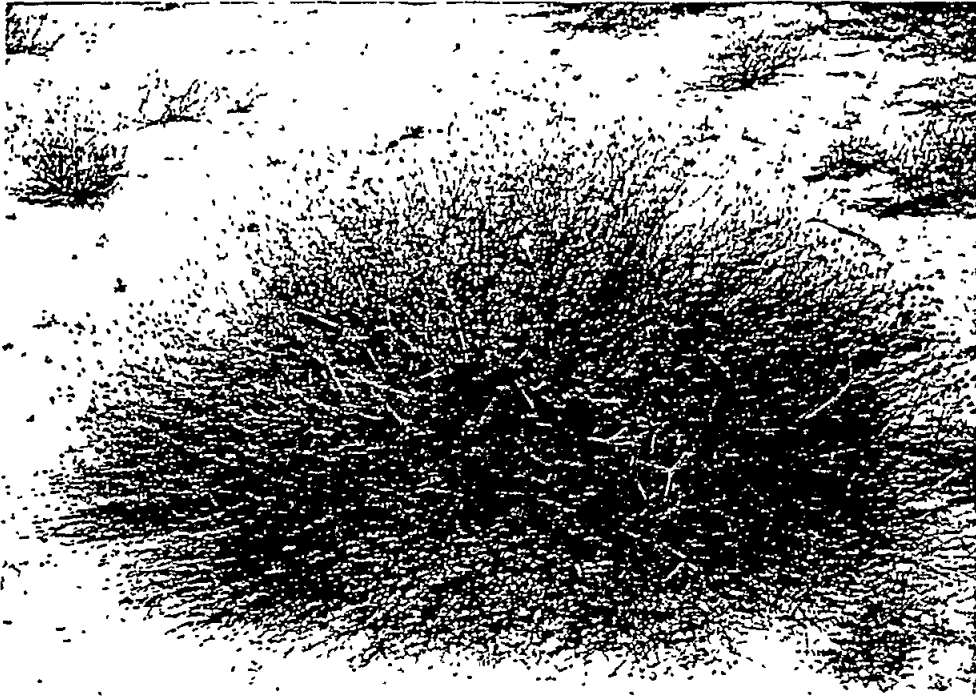
Halophilic vegetation *Suæda maritima*



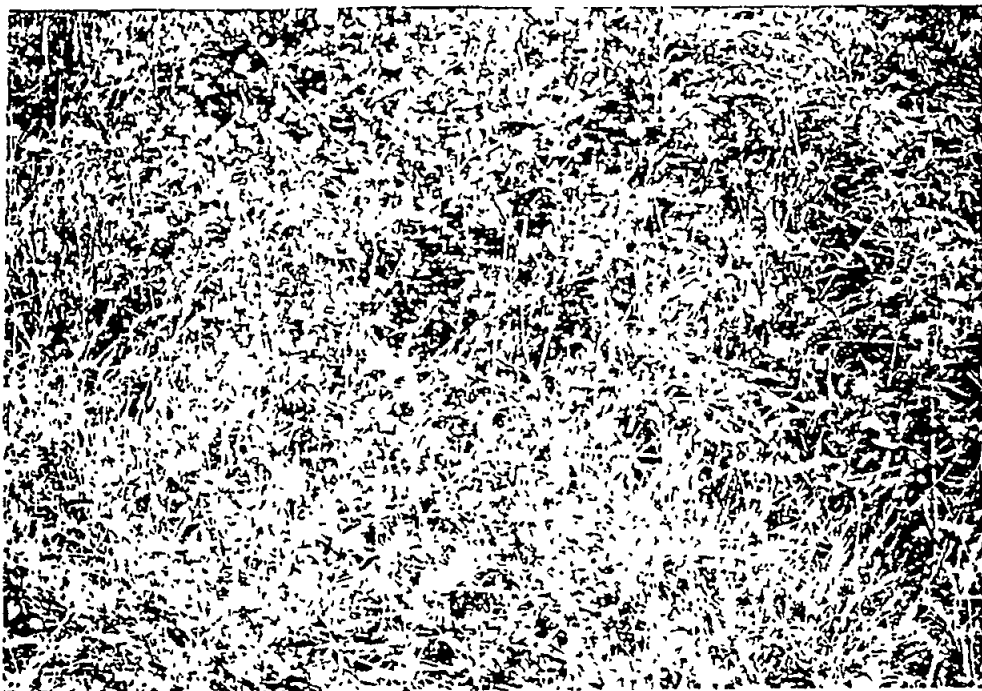
Halophilic vegetation and archæological site of Thyna

Planche 3

Individual plants typical of the spontaneous vegetation in the study area
Climactic vegetation: non-saline environment



Climactic vegetation *Rhantherum suaveolens*



Grainfield vegetation *Centaurea furfuracea*

Plate 4

Individual plants typical of the cultivated vegetation in the study area



The olive tree is a characteristic species of the study area



An almond tree the second most characteristic species of the study area

Planche 5

Individual plants typical of the cultivated vegetation in the study area (continued)



Apricot tree



Cactus

PUBLICATIONS OF THE MAP TECHNICAL REPORTS SERIES

1. UNEP/IOC/WMO: Baseline studies and monitoring of oil and petroleum hydrocarbons in marine waters (MED POL I). MAP Technical Reports Series No. 1. UNEP, Athens, 1986 (96 pages) (parts in English, French or Spanish only).
2. UNEP/FAO: Baseline studies and monitoring of metals, particularly mercury and cadmium, in marine organisms (MED POL II). MAP Technical Reports Series No. 2. UNEP, Athens, 1986 (220 pages) (parts in English, French or Spanish only).
3. UNEP/FAO: Baseline studies and monitoring of DDT, PCBs and other chlorinated hydrocarbons in marine organisms (MED POL III). MAP Technical Reports Series No. 3. UNEP, Athens, 1986 (128 pages) (parts in English, French or Spanish only).
4. UNEP/FAO: Research on the effects of pollutants on marine organisms and their populations (MED POL IV). MAP Technical Reports Series No. 4. UNEP, Athens, 1986 (118 pages) (parts in English, French or Spanish only).
5. UNEP/FAO: Research on the effects of pollutants on marine communities and ecosystems (MED POL V). MAP Technical Reports Series No. 5. UNEP, Athens, 1986 (146 pages) (parts in English or French only).
6. UNEP/IOC: Problems of coastal transport of pollutants (MED POL VI). MAP Technical Reports Series No. 6. UNEP, Athens, 1986 (100 pages) (English only).
7. UNEP/WHO: Coastal water quality control (MED POL VII). MAP Technical Reports Series No. 7. UNEP, Athens, 1986 (426 pages) (parts in English or French only).
8. UNEP/IAEA/IOC. Biogeochemical studies of selected pollutants in the open waters of the Mediterranean (MED POL VIII). MAP Technical Reports Series No. 8. UNEP, Athens, 1986 (42 pages) (parts in English or French only).
8. Add. UNEP: Biogeochemical studies of selected pollutants in the open waters of the Mediterranean (MED POL VIII). Addendum, Greek Oceanographic Cruise 1980. MAP Technical Reports Series No. 8, Addendum. UNEP, Athens, 1986 (66 pages) (English only).
9. UNEP: Co-ordinated Mediterranean pollution monitoring and research programme (MED POL - PHASE I). Final report, 1975-1980. MAP Technical Reports Series No. 9. UNEP, Athens, 1986 (276 pages) (English only).
10. UNEP: Research on the toxicity, persistence, bioaccumulation, carcinogenicity and mutagenicity of selected substances (Activity G). Final reports on projects dealing with toxicity (1983-85). MAP Technical Reports Series No. 10. UNEP, Athens, 1987 (118 pages) (English only).
11. UNEP: Rehabilitation and reconstruction of Mediterranean historic settlements. Documents produced in the first stage of the Priority Action (1984-1985). MAP Technical Reports Series No. 11. UNEP, Priority Actions Programme, Regional Activity Centre, Split, 1986 (158 pages) (parts in English or French only).
12. UNEP: Water resources development of small Mediterranean islands and isolated coastal areas. Documents produced in the first stage of the Priority Action (1984-1985). MAP Technical Reports Series No. 12. UNEP, Priority Actions Programme, Regional Activity Centre, Split, 1987 (162 pages) (parts in English or French only).
13. UNEP: Specific topics related to water resources development of large Mediterranean islands. Documents produced in the second phase of the Priority Action (1985-1986). MAP Technical Reports Series No. 13. UNEP, Priority Actions Programme, Regional Activity Centre, Split, 1987 (162 pages) (parts in English or French only).
14. UNEP: Experience of Mediterranean historic towns in the integrated process of rehabilitation of urban and architectural heritage. Documents produced in the second phase of the Priority Action (1986). MAP Technical Reports Series No. 14. UNEP, Priority Actions Programme, Regional Activity Centre, Split, 1987 (500 pages) (parts in English or French only).

15. UNEP: Environmental aspects of aquaculture development in the Mediterranean region. Documents produced in the period 1985-1987. MAP Technical Reports Series No. 15. UNEP, Priority Actions Programme, Regional Activity Centre, Split, 1987 (101 pages) (English only).
16. UNEP: Promotion of soil protection as an essential component of environmental protection in Mediterranean coastal zones. *Selected documents (1985-1987)*. MAP Technical Reports Series No. 16. UNEP, Priority Actions Programme, Regional Activity Centre, Split, 1987 (424 pages) (parts in English or French only).
17. UNEP Seismic risk reduction in the Mediterranean region *Selected studies and documents (1985-1987)*. MAP Technical Reports Series No. 17. UNEP, Priority Actions Programme, Regional Activity Centre, Split, 1987 (247 pages) (parts in English or French only).
18. UNEP/FAO/WHO: Assessment of the state of pollution of the Mediterranean Sea by mercury and mercury compounds. MAP Technical Reports Series No. 18. UNEP, Athens, 1987 (354 pages) (English and French)
19. UNEP/IOC. Assessment of the state of pollution of the Mediterranean Sea by petroleum hydrocarbons. MAP Technical Reports Series No. 19. UNEP, Athens, 1988 (130 pages) (English and French).
20. UNEP/WHO. Epidemiological studies related to environmental quality criteria for bathing waters, shellfish-growing waters and edible marine organisms (Activity D). *Final report on project on relationship between microbial quality of coastal seawater and health effects (1983-86)*. MAP Technical Reports Series No. 20. UNEP, Athens, 1988 (156 pages) (English only).
21. UNEP/UNESCO/FAO: Eutrophication in the Mediterranean Sea: Receiving capacity and monitoring of long-term effects. MAP Technical Reports Series No. 21. UNEP, Athens, 1988 (200 pages) (parts in English or French only).
22. UNEP/FAO: Study of ecosystem modifications in areas influenced by pollutants (Activity I). MAP Technical Reports Series No. 22. UNEP, Athens, 1988 (146 pages) (parts in English or French only).
23. UNEP: National monitoring programme of Yugoslavia, Report for 1983-1986. MAP Technical Reports Series No. 23. UNEP, Athens, 1988 (223 pages) (English only).
24. UNEP/FAO. Toxicity, persistence and bioaccumulation of selected substances to marine organisms (Activity G). MAP Technical Reports Series No. 24. UNEP, Athens, 1988 (122 pages) (parts in English or French only)
25. UNEP: The Mediterranean Action Plan in a functional perspective: A quest for law and policy. MAP Technical Reports Series No. 25. UNEP, Athens, 1988 (105 pages) (English only).
26. UNEP/IUCN: Directory of marine and coastal protected areas in the Mediterranean Region. Part I - Sites of biological and ecological value. MAP Technical Reports Series No. 26. UNEP, Athens, 1989 (196 pages) (English only).
27. UNEP: Implications of expected climate changes in the Mediterranean Region: An overview. MAP Technical Reports Series No. 27. UNEP, Athens, 1989 (52 pages) (English only).
28. UNEP: State of the Mediterranean marine environment. MAP Technical Reports Series No. 28. UNEP, Athens, 1989 (225 pages) (English only).
29. UNEP: Bibliography on effects of climatic change and related topics. MAP Technical Reports Series No. 29. UNEP, Athens, 1989 (143 pages) (English only).
30. UNEP. Meteorological and climatological data from surface and upper measurements for the assessment of atmospheric transport and deposition of pollutants in the Mediterranean Basin: A review. MAP Technical Reports Series No. 30. UNEP, Athens, 1989 (137 pages) (English only).
31. UNEP/WMO. Airborne pollution of the Mediterranean Sea. Report and proceedings of a WMO/UNEP Workshop. MAP Technical Reports Series No. 31. UNEP, Athens, 1989 (247 pages) (parts in English or French only).

32. UNEP/FAO: *Biogeochemical cycles of specific pollutants (Activity K)*. MAP Technical Reports Series No. 32. UNEP, Athens, 1989 (139 pages) (parts in English or French only).
33. UNEP/FAO/WHO/IAEA. *Assessment of organotin compounds as marine pollutants in the Mediterranean*. MAP Technical Reports Series No. 33. UNEP, Athens, 1989 (185 pages) (English and French).
34. UNEP/FAO/WHO: *Assessment of the state of pollution of the Mediterranean Sea by cadmium and cadmium compounds*. MAP Technical Reports Series No. 34. UNEP, Athens, 1989 (175 pages) (English and French).
35. UNEP *Bibliography on marine pollution by organotin compounds*. MAP Technical Reports Series No. 35. UNEP, Athens, 1989 (92 pages) (English only).
36. UNEP/IUCN: *Directory of marine and coastal protected areas in the Mediterranean region. Part I - Sites of biological and ecological value*. MAP Technical Reports Series No. 36. UNEP, Athens, 1990 (198 pages) (French only)
37. UNEP/FAO: *Final reports on research projects dealing with eutrophication and plankton blooms (Activity H)*. MAP Technical Reports Series No. 37. UNEP, Athens, 1990 (74 pages) (parts in English or French only).
38. UNEP: *Common measures adopted by the Contracting Parties to the Convention for the Protection of the Mediterranean Sea against pollution*. MAP Technical Reports Series No. 38. UNEP, Athens, 1990 (100 pages) (English, French, Spanish and Arabic).
39. UNEP/FAO/WHO/IAEA. *Assessment of the state of pollution of the Mediterranean Sea by organohalogen compounds*. MAP Technical Reports Series No. 39. UNEP, Athens, 1990 (224 pages) (English and French).
40. UNEP/FAO: *Final reports on research projects (Activities H,I and J)*. MAP Technical Reports Series No. 40. UNEP, Athens, 1990 (125 pages) (English and French).
41. UNEP. *Wastewater reuse for irrigation in the Mediterranean region*. MAP Technical Reports Series No. 41. UNEP, Priority Actions Programme, Regional Activity Centre, Split, 1990 (330 pages) (English and French).
42. UNEP/IUCN: *Report on the status of Mediterranean marine turtles*. MAP Technical Reports Series No. 42. UNEP, Athens, 1990 (204 pages) (English and French).
43. UNEP/IUCN/GIS *Posidonia: Red Book "Gérard Vuignier", marine plants, populations and landscapes threatened in the Mediterranean*. MAP Technical Reports Series No. 43. UNEP, Athens, 1990 (250 pages) (French only).
44. UNEP: *Bibliography on aquatic pollution by organophosphorus compounds*. MAP Technical Reports Series No. 44. UNEP, Athens, 1990 (98 pages) (English only).
45. UNEP/IAEA: *Transport of pollutants by sedimentation: Collected papers from the first Mediterranean Workshop (Villefranche-sur-Mer, France, 10-12 December 1987)*. MAP Technical Reports Series No. 45. UNEP, Athens, 1990 (302 pages) (English only).
46. UNEP/WHO: *Epidemiological studies related to environmental quality criteria for bathing waters, shellfish-growing waters and edible marine organisms (Activity D). Final report on project on relationship between microbial quality of coastal seawater and rotavirus-induced gastroenteritis among bathers (1986-88)*. MAP Technical Reports Series No.46, UNEP, Athens, 1991 (64 pages) (English only).
47. UNEP *Jellyfish blooms in the Mediterranean. Proceedings of the II workshop on jellyfish in the Mediterranean Sea*. MAP Technical Reports Series No.47. UNEP, Athens, 1991 (320 pages) (parts in English or French only).
48. UNEP/FAO: *Final reports on research projects (Activity G)*. MAP Technical Reports Series No. 48. UNEP, Athens, 1991 (126 pages) (parts in English or French only).

49. UNEP/WHO: Biogeochemical cycles of specific pollutants. Survival of pathogens. Final reports on research projects (Activity K) MAP Technical Reports Series No. 49. UNEP, Athens, 1991 (71 pages) (parts in English or French only).
50. UNEP: Bibliography on marine litter. MAP Technical Reports Series No. 50. UNEP, Athens, 1991 (62 pages) (English only).
51. UNEP/FAO: Final reports on research projects dealing with mercury, toxicity and analytical techniques. MAP Technical Reports Series No. 51. UNEP, Athens, 1991 (166 pages) (parts in English or French only).
52. UNEP/FAO: Final reports on research projects dealing with bioaccumulation and toxicity of chemical pollutants. MAP Technical Reports Series No. 52. UNEP, Athens, 1991 (86 pages) (parts in English or French only).
53. UNEP/WHO Epidemiological studies related to environmental quality criteria for bathing waters, shellfish-growing waters and edible marine organisms (Activity D). Final report on epidemiological study on bathers from selected beaches in Malaga, Spain (1988-1989). MAP Technical Reports Series No. 53 UNEP, Athens, 1991 (127 pages) (English only).
54. UNEP/WHO: Development and testing of sampling and analytical techniques for monitoring of marine pollutants (Activity A): Final reports on selected microbiological projects. MAP Technical Reports Series No 54. UNEP, Athens, 1991 (83 pages) (English only).
55. UNEP/WHO: Biogeochemical cycles of specific pollutants (Activity K): Final report on project on survival of pathogenic organisms in seawater. MAP Technical Reports Series No 55. UNEP, Athens, 1991 (95 pages) (English only).
56. UNEP/IOC/FAO: Assessment of the state of pollution of the Mediterranean Sea by persistent synthetic materials which may float, sink or remain in suspension. MAP Technical Reports Series No. 56. UNEP, Athens, 1991 (113 pages) (English and French).
57. UNEP/WHO: Research on the toxicity, persistence, bioaccumulation, carcinogenicity and mutagenicity of selected substances (Activity G). Final reports on projects dealing with carcinogenicity and mutagenicity. MAP Technical Reports Series No. 57. UNEP, Athens, 1991 (59 pages) (English only)
58. UNEP/FAO/WHO/IAEA: Assessment of the state of pollution of the Mediterranean Sea by organophosphorus compounds. MAP Technical Reports Series No. 58. UNEP, Athens, 1991 (122 pages) (English and French).
59. UNEP/FAO/IAEA. Proceedings of the FAO/UNEP/IAEA Consultation Meeting on the Accumulation and Transformation of Chemical contaminants by Biotic and Abiotic Processes in the Marine Environment (La Spezia, Italy, 24-28 September 1990), edited by G.P. Gabrieldes. MAP Technical Reports Series No. 59. UNEP, Athens, 1991 (392 pages) (English only).
60. UNEP/WHO: Development and testing of sampling and analytical techniques for monitoring of marine pollutants (Activity A): Final reports on selected microbiological projects (1987-1990). MAP Technical Reports Series No. 60. UNEP, Athens, 1991 (76 pages) (parts in English or French only).
61. UNEP: Integrated Planning and Management of the Mediterranean Coastal Zones. Documents produced in the first and second stage of the Priority Action (1985-1986). MAP Technical Reports Series No. 61. UNEP, Priority Actions Programme, Regional Activity Centre, Split, 1991 (437 pages) (parts in English or French only).
62. UNEP/IAEA: Assessment of the State of Pollution of the Mediterranean Sea by Radioactive Substances. MAP Technical Reports Series No. 62, UNEP, Athens, 1992 (133 pages) (English and French).
63. UNEP/WHO: Biogeochemical cycles of specific pollutants (Activity K) - Survival of Pathogens - Final reports on Research Projects (1989-1991). MAP Technical Reports Series No. 63, UNEP, Athens, 1992 (86 pages) (French only).

64. UNEP/WMO: Airborne Pollution of the Mediterranean Sea. Report and Proceedings of the Second WMO/UNEP Workshop. MAP Technical Reports Series No. 64, UNEP, Athens, 1992 (246 pages) (English only).
65. UNEP: Directory of Mediterranean Marine Environmental Centres. MAP Technical Reports Series No. 65, UNEP, Athens, 1992 (351 pages) (English and French).
66. UNEP/CRU: Regional Changes in Climate in the Mediterranean Basin Due to Global Greenhouse Gas Warming. MAP Technical Reports Series No. 66, UNEP, Athens, 1992 (172 pages) (English only)
67. UNEP/IOC: Applicability of Remote Sensing for Survey of Water Quality Parameters in the Mediterranean. Final Report of the Research Project. MAP Technical Reports Series No. 67, UNEP, Athens, 1992 (142 pages) (English only).
68. UNEP/FAO/IOC. Evaluation of the Training Workshops on the Statistical Treatment and Interpretation of Marine Community Data. MAP Technical Reports Series No. 68. UNEP, Athens, 1992 (221 pages) (English only).
69. UNEP/FAO/IOC: Proceedings of the FAO/UNEP/IOC Workshop on the Biological Effects of Pollutants on Marine Organisms (Malta, 10-14 September 1991), edited by G.P. Gabrielides. MAP Technical Reports Series No. 69. UNEP, Athens, 1992 (287 pages) (English only).
70. UNEP/IAEA/IOC/FAO: Organohalogen Compounds in the Marine Environment: A Review. MAP Technical Reports Series No. 70. UNEP, Athens, 1992 (49 pages) (English only)
71. UNEP/FAO/IOC: Selected techniques for monitoring biological effects of pollutants in marine organisms. MAP Technical Reports Series No. 71. UNEP, Athens, 1993 (189 pages) (English only).
72. UNEP: Costs and Benefits of Measures for the Reduction of Degradation of the Environment from Land-based Sources of Pollution in Coastal Areas. A - Case Study of the Bay of Izmir. B - Case Study of the Island of Rhodes. MAP Technical Reports Series No. 72. UNEP, Athens, 1993 (64 pages) (English only).
73. UNEP/FAO: Final Reports on Research Projects Dealing with the Effects of Pollutants on Marine Communities and Organisms. MAP Technical Reports Series No. 73. UNEP, Athens, 1993 (186 pages) (English and French).
74. UNEP/FIS. Report of the Training Workshop on Aspects of Marine Documentation in the Mediterranean. MAP Technical Reports Series No. 74. UNEP, Athens, 1993 (38 pages) (English only).
75. UNEP/WHO: Development and Testing of Sampling and Analytical Techniques for Monitoring of Marine Pollutants (Activity A). MAP Technical Reports Series No. 75. UNEP, Athens, 1993 (90 pages) (English only).
76. UNEP/WHO: Biogeochemical Cycles of Specific Pollutants (Activity K): Survival of Pathogens. MAP Technical Reports Series No. 76. UNEP, Athens, 1993 (68 pages) (English and French).
77. UNEP/FAO/IAEA: Designing of monitoring programmes and management of data concerning chemical contaminants in marine organisms. MAP Technical Reports Series No. 77. UNEP, Athens, 1993 (236 pages) (English only).
78. UNEP/FAO: Final reports on research projects dealing with eutrophication problems. MAP Technical Reports Series No. 78. UNEP, Athens, 1994 (139 pages) (English only).
79. UNEP/FAO: Final reports on research projects dealing with toxicity of pollutants on marine organisms. MAP Technical Reports Series No. 79. UNEP, Athens, 1994 (135 pages) (parts in English or French only).
80. UNEP/FAO: Final reports on research projects dealing with the effects of pollutants on marine organisms and communities. MAP Technical Reports Series No. 80. UNEP, Athens, 1994 (123 pages) (English only).

81. UNEP/IAEA. Data quality review for MED POL: Nineteen years of progress. MAP Technical Reports Series No. 81. UNEP, Athens, 1994 (79 pages) (English only).
82. UNEP/IUCN: Technical report on the State of Cetaceans in the Mediterranean. MAP Technical Reports Series No. 82. UNEP, Regional Activity Centre for Specially Protected Areas, Tunis, 1994 (37 pages) (English only).
83. UNEP/IUCN: Specially protected Areas in Mediterranean. Sketch of an Analytical Study of Relevant Legislation. MAP Technical Reports Series No. 83. UNEP, Regional Activity Centre for Specially Protected Areas, Tunis, 1994 (55 pages) (French only).
84. UNEP: Integrated Management Study for the Area of Izmir. MAP Technical Reports Series No. 84, UNEP, Regional Activity Centre for Priority Actions Programme, Split, 1994 (130 pages) (English only)
85. UNEP/WMO: Assessment of Airborne Pollution of the Mediterranean Sea by Sulphur and Nitrogen Compounds and Heavy Metals in 1991. MAP Technical Report Series No. 85, Athens, 1994 (304 pages) (English only)
86. UNEP: Monitoring Programme of the Eastern Adriatic Coastal Area - Report for 1983-1991. MAP Technical Report Series No. 86, Athens, 1994 (311 pages) (English only).
87. UNEP/WHO. Identification of microbiological components and measurement development and testing of methodologies of specified contaminants (Area I) - Final reports on selected microbiological projects. MAP Technical Reports Series No. 87, UNEP, Athens, 1994 (136 pages) (English only).
88. UNEP: Proceedings of the Seminar on Mediterranean Prospective. MAP Technical Reports Series No. 88, UNEP, Blue Plan Regional Activity Centre, Sophia Antipolis, 1994 (176 pages) (parts in English or French only).
89. UNEP: Iskenderun Bay Project. Volume I. Environmental Management within the Context of Environment-Development. MAP Technical Reports Series No. 89, UNEP, Blue Plan Regional Activity Centre, Sophia Antipolis, 1994 (144 pages) (English only).
90. UNEP: Iskenderun Bay Project. Volume II. Systemic and Prospective Analysis. MAP Technical Report Series No. 90, Sophia Antipolis, 1994 (142 pages) (parts in English or French only).
91. UNEP: A Contribution from Ecology to Prospective Studies. Assets and Issues. MAP Technical Reports Series No. 91, Sophia Antipolis, 1994 (162 pages) (French only).
92. UNEP/WHO: Assessment of the State of Pollution in the Mediterranean Sea by Carcinogenic, Mutagenic and Teratogenic Substances. MAP Technical Reports Series No. 92, UNEP, Athens, 1995 (238 pages) (English only).
93. UNEP/WHO: Epidemiological studies related to the environmental quality criteria for bathing waters, shellfish-growing waters and edible marine organisms. MAP Technical Reports Series No. 93, UNEP, Athens, 1995 (118 pages) (English only).
94. UNEP: Proceedings of the Workshop on Application of Integrated Approach to Development, Management and Use of Water Resources. MAP Technical Reports Series No. 94, UNEP, Athens, 1995 (214 pages) (parts in English or French only).
95. UNEP: Common measures for the control of pollution adopted by the Contracting Parties to the Convention for the Protection of the Mediterranean Sea against Pollution. MAP Technical Reports Series No 95, UNEP, Athens, 1995 (69 pages) (English and French).
96. UNEP/FAO: Final reports of research projects on effects (Research Area III) - Pollution effects on plankton composition and spatial distribution, near the sewage outfall of Athens (Saronikos Gulf, Greece). MAP Technical Reports Series No. 96, UNEP, Athens, 1996 (121 pages) (English only).
97. UNEP/FAO Final reports of research projects on effects (Research Area III) - Pollution effects on marine communities. MAP Technical Reports Series No. 97, UNEP, Athens, 1996 (141 pages) (English and French).

98. UNEP: Implications of Climate Change for the Albanian Coast. MAP Technical Reports Series No. 98, UNEP, Athens (179 pages) (English only).

PUBLICATIONS "MAP TECHNICAL REPORTS SERIES"

1. PNUE/COI/OMM: Etudes de base et surveillance continue du pétrole et des hydrocarbures contenus dans les eaux de la mer (MED POL I). MAP Technical Reports Series No. 1. UNEP, Athens, 1986 (96 pages) (parties en anglais, français ou espagnol seulement).
2. PNUE/FAO: Etudes de base et surveillance continue des métaux, notamment du mercure et du cadmium, dans les organismes marins (MED POL II). MAP Technical Reports Series No. 2. UNEP, Athens, 1986 (220 pages) (parties en anglais, français ou espagnol seulement).
3. PNUE/FAO: Etudes de base et surveillance continue du DDT, des PCB et des autres hydrocarbures chlorés contenus dans les organismes marins (MED POL III). MAP Technical Reports Series No. 3. UNEP, Athens, 1986 (128 pages) (parties en anglais, français ou espagnol seulement).
4. PNUE/FAO Recherche sur les effets des polluants sur les organismes marins et leurs peuplements (MED POL IV). MAP Technical Reports Series No. 4. UNEP, Athens, 1986 (118 pages) (parties en anglais, français ou espagnol seulement).
5. PNUE/FAO Recherche sur les effets des polluants sur les communautés et écosystèmes marins (MED POL V). MAP Technical Reports Series No. 5. UNEP, Athens, 1986 (146 pages) (parties en anglais ou français seulement)
6. PNUE/COI: Problèmes du transfert des polluants le long des côtes (MED POL VI). MAP Technical Reports Series No 6 UNEP, Athens, 1986 (100 pages) (anglais seulement).
7. PNUE/OMS Contrôle de la qualité des eaux côtières (MED POL VII). MAP Technical Reports Series No. 7. UNEP, Athens, 1986 (426 pages) (parties en anglais ou français seulement).
8. PNUE/AIEA/COI: Etudes biogéochimiques de certains polluants au large de la Méditerranée (MED POL VIII). MAP Technical Reports Series No. 8. UNEP, Athens, 1986 (42 pages) (parties en anglais ou français seulement).
8. Add. PNUE: Etudes biogéochimiques de certains polluants au large de la Méditerranée (MED POL VIII). Addendum, Croisière Oceanographique de la Grèce 1980. MAP Technical Reports Series No. 8, Addendum. UNEP, Athens, 1986 (66 pages) (anglais seulement).
9. PNUE. Programme coordonné de surveillance continue et de recherche en matière de pollution dans la Méditerranée (MED POL -PHASE I). Rapport final, 1975-1980. MAP Technical Reports Series No. 9. UNEP, Athens, 1986 (276 pages) (anglais seulement).
10. PNUE. Recherches sur la toxicité, la persistance, la bioaccumulation, la cancérogénicité et la mutagénicité de certaines substances (Activité G). Rapports finaux sur les projets ayant trait à la toxicité (1983-85). MAP Technical Reports Series No. 10. UNEP, Athens, 1987 (118 pages) (anglais seulement).
11. PNUE. Réhabilitation et reconstruction des établissements historiques méditerranéens. Textes rédigés au cours de la première phase de l'action prioritaire (1984-1985). MAP Technical Reports Series No. 11. UNEP, Priority Actions Programme, Regional Activity Centre, Split, 1986 (158 pages) (parties en anglais ou français seulement).
12. PNUE: Développement des ressources en eau des petites îles et des zones côtières isolées méditerranéennes. Textes rédigés au cours de la première phase de l'action prioritaire (1984-1985). MAP Technical Reports Series No. 12. UNEP, Priority Actions Programme, Regional Activity Centre, Split, 1987 (162 pages) (parties en anglais ou français seulement).
13. PNUE. Thèmes spécifiques concernant le développement des ressources en eau des grandes îles méditerranéennes. Textes rédigés au cours de la deuxième phase de l'action prioritaire (1985-1986). MAP Technical Reports Series No. 13. UNEP, Priority Actions Programme, Regional Activity Centre, Split, 1987 (162 pages) (parties en anglais ou français seulement).

14. PNUE. *L'expérience des villes historiques de la Méditerranée dans le processus intégré de réhabilitation du patrimoine urbain et architectural*. Documents établis lors de la seconde phase de l'Action prioritaire (1986). MAP Technical Reports Series No. 14. UNEP, Priority Actions Programme, Regional Activity Centre, Split, 1987 (500 pages) (parties en anglais ou français seulement).
15. PNUE: *Aspects environnementaux du développement de l'aquaculture dans la région méditerranéenne*. Documents établis pendant la période 1985-1987. MAP Technical Reports Series No. 15. UNEP, Priority Actions Programme, Regional Activity Centre, Split, 1987 (101 pages) (anglais seulement).
16. PNUE *Promotion de la protection des sols comme élément essentiel de la protection de l'environnement dans les zones côtières méditerranéennes*. Documents sélectionnés (1985-1987). MAP Technical Reports Series No. 16. UNEP, Priority Actions Programme, Regional Activity Centre, Split, 1987 (424 pages) (parties en anglais ou français seulement).
17. PNUE. *Réduction des risques sismiques dans la région méditerranéenne*. Documents et études sélectionnés (1985-1987). MAP Technical Reports Series No. 17. UNEP, Priority Actions Programme, Regional Activity Centre, Split, 1987 (247 pages) (parties en anglais ou français seulement).
18. PNUE/FAO/OMS. *Evaluation de l'état de la pollution de la mer Méditerranée par le mercure et les composés mercuriels*. MAP Technical Reports Series No. 18. UNEP, Athens, 1987 (354 pages) (anglais et français).
19. PNUE/COI: *Evaluation de l'état de la pollution de la mer Méditerranée par les hydrocarbures de pétrole*. MAP Technical Reports Series No. 19. UNEP, Athens, 1988 (130 pages) (anglais et français).
20. PNUE/OMS. *Études épidémiologiques relatives aux critères de la qualité de l'environnement pour les eaux servant à la baignade, à la culture de coquillages et à l'élevage d'autres organismes marins comestibles (Activité D). Rapport final sur le projet sur la relation entre la qualité microbienne des eaux marines côtières et les effets sur la santé (1983-86)*. MAP Technical Reports Series No. 20. UNEP, Athens, 1988 (156 pages) (anglais seulement).
21. PNUE/UNESCO/FAO: *Eutrophisation dans la mer Méditerranée: capacité réceptrice et surveillance continue des effets à long terme*. MAP Technical Reports Series No. 21. UNEP, Athens, 1988 (200 pages) (parties en anglais ou français seulement).
22. PNUE/FAO. *Étude des modifications de l'écosystème dans les zones soumises à l'influence des polluants (Activité I)*. MAP Technical Reports Series No. 22. UNEP, Athens, 1988 (146 pages) (parties en anglais ou français seulement).
23. PNUE: *Programme national de surveillance continue pour la Yougoslavie, Rapport pour 1983-1986*. MAP Technical Reports Series No. 23. UNEP, Athens, 1988 (223 pages) (anglais seulement).
24. PNUE/FAO. *Toxicité, persistance et bioaccumulation de certaines substances vis-à-vis des organismes marins (Activité G)*. MAP Technical Reports Series No. 24. UNEP, Athens, 1988 (122 pages) (parties en anglais ou français seulement).
25. PNUE: *Le Plan d'action pour la Méditerranée, perspective fonctionnelle; une recherche juridique et politique*. MAP Technical Reports Series No. 25. UNEP, Athens, 1988 (105 pages) (anglais seulement).
26. PNUE/UICN: *Répertoire des aires marines et côtières protégées de la Méditerranée. Première partie - Sites d'importance biologique et écologique*. MAP Technical Reports Series No. 26. UNEP, Athens, 1989 (196 pages) (anglais seulement).
27. PNUE. *Implications des modifications climatiques prévues dans la région méditerranéenne: une vue d'ensemble*. MAP Technical Reports Series No. 27. UNEP, Athens, 1989 (52 pages) (anglais seulement).

28. PNUE: Etat du milieu marin en Méditerranée. MAP Technical Reports Series No. 28. UNEP, Athens, 1989 (225 pages) (anglais seulement).
29. PNUE: Bibliographie sur les effets des modifications climatiques et sujets connexes. MAP Technical Reports Series No. 29. UNEP, Athens, 1989 (143 pages) (anglais seulement).
30. PNUE. Données météorologiques et climatologiques provenant de mesures effectuées dans l'air en surface et en altitude en vue de l'évaluation du transfert et du dépôt atmosphériques des polluants dans le bassin méditerranéen: un compte rendu. MAP Technical Reports Series No. 30. UNEP, Athens, 1989 (137 pages) (anglais seulement).
31. PNUE/OMM. Pollution par voie atmosphérique de la mer Méditerranée. Rapport et actes des Journées d'étude OMM/PNUE. MAP Technical Reports Series No. 31. UNEP, Athens, 1989 (247 pages) (parties en anglais ou français seulement).
32. PNUE/FAO: Cycles biogéochimiques de polluants spécifiques (Activité K). MAP Technical Reports Series No. 32. UNEP, Athens, 1989 (139 pages) (parties en anglais ou français seulement).
33. PNUE/FAO/OMS/AIEA Evaluation des composés organostanniques en tant que polluants du milieu marin en Méditerranée. MAP Technical Reports Series No. 33. UNEP, Athens, 1989 (185 pages) (anglais et français).
34. PNUE/FAO/OMS. Evaluation de l'état de la pollution de la mer Méditerranée par le cadmium et les composés de cadmium MAP Technical Reports Series No. 34. UNEP, Athens, 1989 (175 pages) (anglais et français)
35. PNUE. Bibliographie sur la pollution marine par les composés organostanniques. MAP Technical Reports Series No. 35. UNEP, Athens, 1989 (92 pages) (anglais seulement).
36. PNUE/UICN: Répertoire des aires marines et côtières protégées de la Méditerranée. Première partie - Sites d'importance biologique et écologique. MAP Technical Reports Series No. 36. UNEP, Athens, 1990 (198 pages) (français seulement).
37. PNUE/FAO: Rapports finaux sur les projets de recherche consacrés à l'eutrophisation et aux efflorescences de plancton (Activité H). MAP Technical Reports Series No. 37. UNEP, Athens, 1990 (74 pages) (parties en anglais ou français seulement).
38. PNUE: Mesures communes adoptées par les Parties Contractantes à la Convention pour la protection de la mer Méditerranée contre la pollution. MAP Technical Reports Series No. 38. UNEP, Athens, 1990 (100 pages) (anglais, français, espagnol et arabe).
39. PNUE/FAO/OMS/AIEA: Evaluation de l'état de la pollution par les composés organohalogénés. MAP Technical Reports Series No. 39. UNEP, Athens, 1990 (224 pages) (anglais et français).
40. PNUE/FAO: Rapports finaux sur les projets de recherche (Activités H, I et J). MAP Technical Reports Series No. 40. UNEP, Athens, 1990 (125 pages) (anglais et français).
41. PNUE. Réutilisation agricole des eaux usées dans la région méditerranéenne. MAP Technical Reports Series No. 41. UNEP, Priority Actions Programme, Regional Activity Centre, Split, 1990 (330 pages) (anglais et français).
42. PNUE/UICN: Rapport sur le statut des tortues marines de Méditerranée. MAP Technical Reports Series No. 42. UNEP, Athens, 1990 (204 pages) (anglais et français).
43. PNUE/UICN/GIS Posidonie. Livre rouge "Gérard Vuignier" des végétaux, peuplements et paysages marins menacés de Méditerranée. MAP Technical Reports Series No. 43. UNEP, Athens, 1990 (250 pages) (français seulement).
44. PNUE. Bibliographie sur la pollution aquatique par les composés organophosphorés. MAP Technical Reports Series No. 44. UNEP, Athens, 1990 (98 pages) (anglais seulement).

45. PNUE/AIEA. Transfert des polluants par sédimentation: Recueil des communications présentées aux premières journées d'études méditerranéennes (Villefranche-sur-Mer, France, 10-12 décembre 1987). MAP Technical Reports Series No. 45. UNEP, Athens, 1990 (302 pages) (anglais seulement).
46. PNUE/OMS. Etudes épidémiologiques relatives aux critères de la qualité de l'environnement pour les eaux servant à la baignade, à la culture de coquillages et à l'élevage d'autres organismes marins comestibles (Activité D). Rapport final sur le projet sur la relation entre la qualité microbienne des eaux marines côtières et la gastroentérite provoquée par le rotavirus entre les baigneurs (1986-88). MAP Technical Reports Series No.46. UNEP, Athens, 1991 (64 pages) (anglais seulement).
47. PNUE: Les proliférations de méduses en Méditerranée. Actes des 11èmes journées d'étude sur les méduses en mer Méditerranée. MAP Technical Reports Series No.47. UNEP, Athens, 1991 (320 pages) (parties en anglais ou français seulement).
48. PNUE/FAO Rapports finaux sur les projets de recherche (Activité G). MAP Technical Reports Series No. 48 UNEP, Athens, 1991 (126 pages) (parties en anglais ou français seulement).
49. PNUE/OMS Cycles biogéochimiques de polluants spécifiques. Survie des Pathogènes. Rapports finaux sur les projets de recherche (activité K) MAP Technical Reports Series No. 49. UNEP, Athens, 1991 (71 pages) (parties en anglais ou français seulement).
50. PNUE. Bibliographie sur les décrets marins. MAP Technical Reports Series No. 50. UNEP, Athens, 1991 (62 pages) (anglais seulement).
51. PNUE/FAO: Rapports finaux sur les projets de recherche traitant du mercure, de la toxicité et des techniques analytiques MAP Technical Reports Series No. 51. UNEP, Athens, 1991 (166 pages) (parties en anglais ou français seulement).
52. PNUE/FAO. Rapports finaux sur les projets de recherche traitant de la bioaccumulation et de la toxicité des polluants chimiques. MAP Technical Reports Series No. 52. UNEP, Athens, 1991 (86 pages) (parties en anglais ou français seulement).
53. PNUE/OMS. Etudes épidémiologiques relatives aux critères de la qualité de l'environnement pour les eaux servant à la baignade, à la culture de coquillages et à l'élevage d'autres organismes marins comestibles (Activité D). Rapport final sur l'étude épidémiologique menée parmi les baigneurs de certaines plages à Malaga, Espagne (1988-1989). MAP Technical Reports Series No. 53. UNEP, Athens, 1991 (127 pages) (anglais seulement).
54. PNUE/OMS. Mise au point et essai des techniques d'échantillonnage et d'analyse pour la surveillance continue des polluants marins (Activité A): Rapports finaux sur certains projets de nature microbiologique. MAP Technical Reports Series No. 54. UNEP, Athens, 1991 (83 pages) (anglais seulement).
55. PNUE/OMS. Cycles biogéochimiques de polluants spécifiques (Activité K): Rapport final sur le projet sur la survie des microorganismes pathogènes dans l'eau de mer. MAP Technical Reports Series No. 55. UNEP, Athens, 1991 (95 pages) (anglais seulement).
56. PNUE/COI/FAO: Evaluation de l'état de la pollution de la mer Méditerranée par les matières synthétiques persistantes qui peuvent flotter, couler ou rester en suspension. MAP Technical Reports Series No. 56. UNEP, Athens, 1991 (113 pages) (anglais et français).
57. PNUE/OMS. Recherches sur la toxicité, la persistance, la bioaccumulation, la cancérogénicité et la mutagénicité de certaines substances (Activité G). Rapports finaux sur les projets ayant trait à la cancérogénicité et la mutagénicité. MAP Technical Reports Series No. 57. UNEP, Athens, 1991 (59 pages) (anglais seulement)
58. PNUE/FAO/OMS/AIEA. Evaluation de l'état de la pollution de la mer Méditerranée par les composés organophosphorés. MAP Technical Reports Series No. 58. UNEP, Athens, 1991 (122 pages) (anglais et français).

59. PNUE/FAO/AIEA: Actes de la réunion consultative FAO/PNUE/AIEA sur l'accumulation et la transformation des contaminants chimiques par les processus biotiques et abiotiques dans le milieu marin (La Spezia, Italie, 24-28 septembre 1990), publié sous la direction de G.P. Gabrieliides. MAP Technical Reports Series No. 59. UNEP, Athens, 1991 (392 pages) (anglais seulement).
60. PNUE/OMS: Mise au point et essai des techniques d'échantillonnage et d'analyse pour la surveillance continue des polluants marins (Activité A): Rapports finaux sur certains projets de nature microbiologique (1987-1990). MAP Technical Reports Series No. 60. UNEP, Athens, 1991 (76 pages) (parties en anglais ou français seulement).
61. PNUE. Planification intégrée et gestion des zones côtières méditerranéennes. Textes rédigés au cours de la première et de la deuxième phase de l'action prioritaire (1985-1986). MAP Technical Reports Series No. 61. UNEP, Priority Actions Programme, Regional Activity Centre, Split, 1991 (437 pages) (parties en anglais ou français seulement).
62. PNUE/AIEA Evaluation de l'état de la pollution de la mer Méditerranée par les substances radioactives. MAP Technical Reports Series No. 62, UNEP, Athens, 1992 (133 pages) (anglais et français).
63. PNUE/OMS. Cycles biogéochimiques de polluants spécifiques (Activité K) - Survie des pathogènes - Rapports finaux sur les projets de recherche (1989-1991) MAP Technical Reports Series No. 63, UNEP, Athens, 1992 (86 pages) (français seulement)
64. PNUE/OMM: Pollution par voie atmosphérique de la mer Méditerranée. Rapport et actes des deuxièmes journées d'études OMM/PNUE. MAP Technical Reports Series No. 64, UNEP, Athens, 1992 (246 pages) (anglais seulement).
65. PNUE. Répertoire des centres relatifs au milieu marin en Méditerranée. MAP Technical Reports Series No. 65, UNEP, Athens, 1992 (351 pages) (anglais et français).
66. PNUE/CRU: Modifications régionales du climat dans le bassin méditerranéen résultant du réchauffement global dû aux gaz à effet de serre. MAP Technical Reports Series No. 66, UNEP, Athens, 1992 (172 pages) (anglais seulement).
67. PNUE/COI: Applicabilité de la téledétection à l'étude des paramètres de la qualité de l'eau en Méditerranée. Rapport final du projet de recherche. MAP Technical Reports Series No. 67, UNEP, Athens, 1992 (142 pages) (anglais seulement).
68. PNUE/FAO/COI: Evaluation des ateliers de formation sur le traitement statistique et l'interprétation des données relatives aux communautés marines. MAP Technical Reports Series No. 68. UNEP, Athens, 1992 (221 pages) (anglais seulement).
69. PNUE/FAO/COI: Actes de l'Atelier FAO/PNUE/COI sur les effets biologiques des polluants sur les organismes marins (Malte, 10-14 septembre 1991), publié sous la direction de G.P. Gabrieliides. MAP Technical Reports Series No. 69. UNEP, Athens, 1992 (287 pages) (anglais seulement).
70. PNUE/AIEA/COI/FAO: Composés organohalogénés dans le milieu marin: Une synthèse. MAP Technical Reports Series No. 70. UNEP, Athens, 1992 (49 pages) (anglais seulement).
71. PNUE/FAO/COI: Techniques sélectionnées de surveillance continue des effets biologiques des polluants sur les organismes marins. MAP Technical Reports Series No. 71. UNEP, Athens, 1993 (189 pages) (anglais seulement).
72. PNUE. Coûts et bénéfices des mesures pour la réduction de la dégradation de l'environnement des sources de pollution d'origine tellurique dans les zones côtières. A -Etude de cas de la baie d'Izmir. B - Etude de cas de l'île de Rhodes. MAP Technical Reports Series No. 72. UNEP, Athens, 1993 (64 pages) (anglais seulement).
73. PNUE/FAO: Rapports finaux sur les projets de recherche traitant des effets de polluants sur les communautés et les organismes marins. MAP Technical Reports Series No. 73. UNEP, Athens, 1993 (186 pages) (anglais et français)

74. PNUE/FIS: Rapport de l'Atelier de formation sur les aspects de la documentation marine en Méditerranée. MAP Technical Reports Series No. 74. UNEP, Athens, 1993 (38 pages) (anglais seulement).
75. PNUE/OMS: Mise au point et essai des techniques d'échantillonnage et d'analyse pour la surveillance continue des polluants marins (Activité A). MAP Technical Reports Series No. 75. UNEP, Athens, 1993 (90 pages) (anglais seulement).
76. PNUE/OMS. Cycles biogéochimiques de polluants spécifiques (Activité K): Survie des pathogènes. MAP Technical Reports Series No. 76. UNEP, Athens, 1993 (68 pages) (anglais et français).
77. PNUE/FAO/AIEA. Conception des programmes de surveillance continue et de gestion des données concernant les contaminants chimiques dans les organismes marins. MAP Technical Reports Series No. 77. UNEP, Athens, 1993 (236 pages) (anglais seulement).
78. PNUE/FAO: Rapports finaux sur les projets de recherche traitant des problèmes de l'eutrophisation. MAP Technical Reports Series No. 78. UNEP, Athens, 1994 (139 pages) (anglais seulement).
79. PNUE/FAO: Rapports finaux sur les projets de recherche traitant de la toxicité des polluants sur les organismes marins. MAP Technical Reports Series No. 79. UNEP, Athens, 1994 (135 pages) (parties en anglais ou français seulement).
80. PNUE/FAO: Rapports finaux sur les projets de recherche traitant des effets des polluants sur les organismes et communautés marins. MAP Technical Reports Series No. 80. UNEP, Athens, 1994 (123 pages) (anglais seulement).
81. PNUE/AIEA: Examen de la qualité des données pour le MED POL: Dix-neuf années de progrès. MAP Technical Reports Series No. 81. UNEP, Athens, 1994 (79 pages) (anglais seulement).
82. PNUE/UCIN: Rapport technique sur l'état des cétacés en Méditerranée. MAP Technical Reports Series No. 82. PNUE, Centre d'activités régionales pour les aires spécialement protégées, Tunis, 1994 (37 pages) (anglais seulement).
83. PNUE/UCIN: Les aires protégées en Méditerranée. Essai d'étude analytique de la législation pertinente. MAP Technical Reports Series No. 83. PNUE, Centre d'activités régionales pour les aires spécialement protégées, Tunis, 1994 (55 pages) (français seulement).
84. PNUE. Etude de gestion intégrée pour la zone d'Izmir. MAP Technical Reports Series No. 84. PNUE, Centre d'activités régionales pour le programme d'actions prioritaires, Split, 1994 (130 pages) (anglais seulement).
85. PNUE/OMM: Evaluation de la pollution transférée par voie atmosphérique en mer Méditerranée pour les composés soufrés, azotés et pour les métaux lourds en 1991. MAP Technical Reports Series No. 85. UNEP, Athens, 1994 (304 pages) (anglais seulement).
86. PNUE: Programme de surveillance continue de la zone côtière de l'Adriatique Est - Rapport pour 1983-1991. MAP Technical Reports Series No. 86. UNEP, Athens, 1994 (311 pages) (anglais seulement).
87. PNUE/OMS: Identification de constituants microbiologiques et de dosage (mise au point et essai de méthodes) de contaminants donnés (Domaine de recherche I) - Rapports finaux sur certains projets de nature microbiologique. MAP Technical Reports Series No. 87. UNEP, Athens, 1994 (136 pages) (anglais seulement).
88. PNUE: Actes du Séminaire débat sur la prospective méditerranéenne. MAP Technical Reports Series No. 88. UNEP, Blue Plan Regional Activity Centre, Sophia Antipolis, 1994 (176 pages) (parties en anglais ou français seulement).
89. PNUE: Projet de la Baie d'Iskenderun. Volume I. Gestion de l'environnement dans le cadre de l'environnement-développement. MAP Technical Reports Series No. 89. PNUE, Centre d'activités régionales pour le Plan Bleu, Sophia Antipolis, 1994 (144 pages) (anglais seulement).

90. PNUE: *Projet de la Baie d'Iskenderun. Volume II. Analyse systémique et prospective.* MAP Technical Reports Series No. 90, UNEP, Sophia Antipolis, 1994 (142 pages) (parties en anglais ou français seulement).
91. PNUE. *Une contribution de l'écologie à la prospective. Problèmes et acquis.* MAP Technical Reports Series No. 91, Sophia Antipolis, 1994 (162 pages) (français seulement).
92. PNUE/OMS: *Evaluation de l'état de la pollution de la mer Méditerranée par les substances cancérigènes, tératogènes et mutagènes.* MAP Technical Reports Series No. 92, UNEP, Athens, 1995 (238 pages) (anglais seulement).
93. PNUE/OMS. *Etudes épidémiologiques relatives à la qualité de l'environnement pour les eaux servant à la baignade, à la culture des coquillages et à l'élevage d'autres organismes marins comestibles.* MAP Technical Reports Series No. 93, UNEP, Athens, 1995 (118 pages) (anglais seulement)
94. PNUE: *Actes de l'Atelier sur l'application d'une approche intégrée au développement, à la gestion et à l'utilisation des ressources en eau.* MAP Technical Reports Series No. 94, UNEP, Athens, 1995 (214 pages) (parties en anglais ou français seulement).
95. PNUE *Mesures communes de lutte contre la pollution adoptées par les Parties contractantes à la Convention pour la protection de la mer Méditerranée contre la pollution.* MAP Technical Reports Series No. 95, UNEP, Athens, 1995 (69 pages) (anglais et français).
96. PNUE/FAO. *Rapports finaux des projets de recherche sur les effets (Domaine de recherche III) - Effets de la pollution sur la composition et la repartition spatiale à proximité de l'émissaire d'eaux usées d'Athènes (Golfe Saronique, Grèce).* MAP Technical Reports Series No. 96, UNEP, Athens, 1996 (121 pages) (anglais seulement).
97. PNUE/FAO: *Rapports finaux des projets de recherche sur les effets (Domaine de recherche III) - Effets de la pollution sur les communautés marines* MAP Technical Reports Series No. 97, UNEP, Athens, 1996 (141 pages) (anglais et français).
98. PNUE: *Implications du changement climatique pour la zone côtière d'Albanie.* MAP Technical Reports Series No. 98, UNEP, Athens, 1996 (179 pages) (anglais seulement).



Issued and printed by:

Mediterranean Action Plan
United Nations Environment Programme

Additional copies of this and other publications issued by
the Mediterranean Action Plan of UNEP can be obtained from:

Coordinating Unit for the Mediterranean Action Plan
United Nations Environment Programme
Leoforos Vassileos Konstantinou, 48
P.O.Box 18019
11610 Athens
GREECE



Publié et imprimé par:

Plan d'action pour la Méditerranée
Programme des Nations Unies pour l'Environnement

Des exemplaires de ce document ainsi que d'autres
publications du Plan d'action pour la Méditerranée
du PNUE peuvent être obtenus de:

Unité de coordination du Plan d'action pour la Méditerranée
Programme des Nations Unies pour l'Environnement
Leoforos Vassileos Konstantinou, 48
B.P. 18019
11610 Athènes
GRECE