



HAL
open science

Etude de l'évolution de l'occupation et de l'utilisation du sol dans le delta de Mejerda par télédétection et SIG

Samaali Hamouda

► **To cite this version:**

Samaali Hamouda. Etude de l'évolution de l'occupation et de l'utilisation du sol dans le delta de Mejerda par télédétection et SIG. domain_other. Faculté des Sciences Humaines et Sociales de Tunis, 2011. Français. NNT: . tel-00612952v1

HAL Id: tel-00612952

<https://theses.hal.science/tel-00612952v1>

Submitted on 4 Aug 2011 (v1), last revised 3 Feb 2014 (v2)

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Université de Tunis
Faculté des Sciences Humaines et Sociales
Ecole Doctorale : Structures, Systèmes et Modèles
en Lettres et Sciences Humaines

ETUDE DE L'EVOLUTION DE L'OCCUPATION ET DE L'UTILISATION DU SOL DANS LE DELTA DE MEJERDA PAR TELEDETECTION ET SYSTEMES D'INFORMATIONS GEOGRAPHIQUES

Thèse en vue de l'obtention du Doctorat en Géographie

Option : Cartographie

Présentée et soutenue publiquement par
SAMAALI Hamouda

Le 04 février 2011

Membres du jury :

Mr. OUESLATI A.	Professeur Université de Tunis	Président
Mr. OMRANE M. N.	Professeur Université de Manouba	Directeur de thèse
Mr. RABIA M. C.	Professeur Université de Manouba	Co-directeur
Mr. DHIEB M.	Professeur Université de Sfax	Rapporteur
Mr. DAOUED A.	Professeur Université de Sfax	Rapporteur
Mr. BELGUITH A.	Directeur CNCT-Tunis	Membre

Remerciements

Ce travail n'aurait pas vu le jour sans le concours et l'aide de plusieurs personnes et organismes. C'est tout le plaisir pour moi de leur adresser mes vifs remerciements.

En premier lieu, je tiens à exprimer toute ma reconnaissance aux doyens de la Faculté des Sciences Humaines et Sociales de Tunis (FSHST) et la Faculté des Lettres, des Arts et des Humanités de la Manouba (FLAHM).

J'exprime mes sentiments de gratitude à mon professeur Mohamed Nacer OMRANE qui a bien voulu diriger cette thèse. Sa grande connaissance en cartographie de l'occupation et de l'utilisation du sol m'a été très profitable. Les remarques et les conseils qu'il m'a prodigués m'ont été d'un intérêt substantiel.

J'exprime ma haute considération à mon professeur Mohamed Chedly RABIA qui a bien voulu co-diriger ce travail. Il a eu la lourde tâche de guider mes premières recherches. J'ai profité de ses connaissances en télédétection et en SIG. Je le remercie d'avoir suivi mon travail avec beaucoup d'intérêt.

J'exprime ma gratitude à tous les membres de jury qui ont bien accepté d'évaluer mon travail.

Mes vifs remerciements et mon profond respect à mon professeur Abdallah CHERIF qui a bien accepté de m'accompagner sur le terrain et à qui je dois ma passion pour cette discipline depuis ma première année à la faculté. J'ai eu la chance de bénéficier de son enseignement et des fréquentes discussions qui m'ont toujours enrichi.

Je tiens à remercier, mes professeurs ; Aneur OUESLATI, Amor El Moktar GAMMAR, Mohsen DHIEB, Abdelkarim SALEM, Mohamed Raouf MAHJOUR, Mohamed BEN YOUSSEF, Kamel REGUAYA et Abdessattar HTIRA pour leurs conseils et leurs encouragements qui m'ont toujours stimulé à aller de l'avant.

Toute ma reconnaissance à l'unité de recherche "Géomatique et Géosystèmes" à laquelle j'appartiens. Je remercie son directeur Mohamed Chedly RABIA pour le soutien matériel et surtout moral. Je remercie mes amis et collègues de l'UR ; Taher, Meriem, Noura, Romdhane,...pour l'ambiance amicale dont ils ont su m'entourer et les échanges d'idées profitables qui règnent en permanence.

Je tiens à remercier également les directeurs et les membres de l'UR. BICADE (FLAHM), le laboratoire CGMED (FSHST) et l'UR. GREVACHOT (FSHST).

J'exprime ma haute considération à l'Association des Géographes Tunisiens, et plus particulièrement à Mr Adnane HAYDER.

Ma reconnaissance s'adresse également à mes collègues du département de géographie (FLAHM) ; Noûmene FEHRI, Françoise RAYOT, Abdelhamid CHAABANI, Fadhila ALOUI, Ali HANAFI, Abdelhamid BEN GHAZI, Mekki BEN SALEM et Khalifa BARKAOUI pour leurs conseils et leurs inestimables aides.

J'exprime ma haute gratitude à l'équipe française du projet CMCU (N°03G203) ; Ibtissem GUERIN-TOUNSI, Françoise GOURMELON, Claude KERGOMARD, Fernand VERGER, Jacqueline JURAUDET, Emmanuel JURAUDET,...pour leurs soutiens et leurs encouragements.

Ce travail à bénéficié du soutien de CGDR. J'adresse mes remerciements à tous ceux qui m'ont apporté le soutien matériel et moral notamment Mr Nejib TLIJANI et Mr Amor KLAI.

Je suis redevable aux familles HABANE et SAHTOUT qui m'ont hébergé et accueilli chaleureusement à Paris. Je pense aussi à tous les personnels du Ministère de l'Agriculture et des Ressources Hydrauliques notamment ceux de la Direction Générale des Forêts et la Direction Générale des Barrages et des Grands Travaux Hydrauliques.

Je remercie également le personnel du Centre National de Cartographie et de Télédétection, qui m'ont apporté leurs aides en ce qui concerne la modélisation. Je pense essentiellement à Mr Mounir RIAHI.

Je suis redevable à beaucoup d'amis pour leurs inestimables aides et leurs encouragements ; Ahmed CHERNI, Habib MBARKI, Heddi ABDALLAH, Mostapha MJEJRA, Abdellatif MEJBRI, Semi BOUCHOUICHA, Hamdi LOUATI, BILEL LOUATI, Ramzi OUECHTETI, Anis ZAYATI, Naziha SAHTOUT, Afef KHALI, Hajer BEN ABDALLAH...

A ma femme Nedra et à ma fille Yara auxquelles je dédie ce travail

Collaboration scientifique

Le milieu deltaïque de l'oued Mejerda qui constitue le cadre géographique de cette étude a fait l'objet d'un projet international de coopération scientifique universitaire relatif à l'étude à long terme de l'écosystème du complexe lagunaire de Ghar El Melh au nord de l'ancienne embouchure de Foug El Oued. Ce travail s'inscrit ainsi dans le cadre du programme du Comité Mixte de Coopération Universitaire (CMCU - projet n°03G0203) entre l'université Paris VIII, le laboratoire "Géomer" de Brest, l'Ecole Normale Supérieure (ENS), l'université Paris I, le laboratoire "géomatique et géosystèmes" de la Faculté des Lettres, des Arts et des Humanités de la Manouba et les universités de Tunis et de Sfax. Ce projet sous la direction de Madame I. Tounsi-Guérin, (Maître de conférences aux départements de géographie de Paris VIII, de l'ENS et chercheur à Géomer : UMR 6554-Brest), a pour but d'établir une base de données numériques qui permettra de faire le suivi de la dynamique du littoral.

Le projet fait appel aux systèmes d'information géographique et à la télédétection ; l'imagerie satellitaire servant d'une source d'information précieuse pour le suivi des changements à long terme du milieu côtier. L'équipe de recherche travaille sur la conception et la réalisation de la base de données pour pouvoir analyser et modéliser les phénomènes qui s'exercent dans le complexe lagunaire. Elle pourra imaginer des scénarios sur les éventuelles évolutions du littoral et en tirer des observations sur les aménagements futurs ou existants et sur les risques associés au littoral. La finalité du projet est la mise en forme d'un modèle et d'un atlas numérique.

Ce travail a pu bénéficier de cette collaboration scientifique notamment par l'organisation d'un atelier de travail en Tunisie en décembre 2003 avec la participation de nombreux chercheurs français (R. Paskoff, F. Verger, I. Guérin-Tounisi). Plusieurs stages ont été effectués en France et ont contribué à l'avancement de cette recherche. En outre ce travail a bénéficié de l'encadrement et du soutien de Mme F. Gourmelon, de Mr. C. Kergomard et des cartographes J. Giraudet et E. Giraudet.

Deux images ont été fournies par l'Ecole Normale Supérieure de Paris (ENS), dans le cadre du projet et ont été utilisées dans ce travail après l'acceptation du dossier « ISIS » permettant l'obtention de scènes Spot à tarif préférentiel recherche.

Résumé :

Cette étude a pour ambition d'améliorer les connaissances thématiques sur l'évolution de l'occupation et de l'utilisation des sols et des structures paysagères. Les recherches et les analyses faites sur cette thématique forment une base d'information nécessaire aux différents utilisateurs. Elles sont intéressantes pour mettre l'accent sur les problèmes environnementaux en général.

L'objectif principal de la présente étude est d'élaborer une cartographie détaillée de la dynamique d'occupation et d'utilisation du sol dans le delta de Mejerda. On a essayé de remonter à la moitié du XX^{ème} siècle, du fait que la plupart des changements dans la morphologie paysagère du delta se confondait avec celle de son aménagement hydraulique. Outre, cette zone, a subi plusieurs contraintes de diverses origines qui posent des pressions de plus en plus fortes :

- Une périurbanisation intense qui transforme le paysage naturel et les terres cultivables (habitats, zones industrielles, infrastructures routières, ...).
- Des aménagements (zones industrielles, infrastructures routières...) et des interventions parfois inadéquats au sein des zones à risque d'inondation et de stagnation d'eau (Garaâ).
- Au niveau du littoral et notamment le complexe lagunaire de Ghar El Melh, ces interventions se traduisent par une altération du milieu physique (érosion et engraissement) et une transformation de la morphologie de l'occupation du sol...

Aujourd'hui, l'extension des méthodes d'analyses intégrées comme les systèmes d'informations géographiques (SIG), et les avantages de la télédétection aérospatiale, nous permettent d'approfondir les études en accédant à une information multi-scalaire et multi-temporelle, jadis inaccessible.

Les problèmes soulevés par l'occupation et l'utilisation du sol nous ont amené à développer une méthode reproductible qui permet d'effectuer une prédiction à court terme de la couverture hivernale des sols en contexte agricole intensif (cas du périmètre irrigué de Kalaât Landalous). Une approche approximative qui se base sur un modèle expert et qui utilise *la règle des évidences de Dempster-Shafer* a été retenue. Des prédictions de la couverture hivernale des sols ont été effectuées selon les deux hypothèses « Sols couverts » et « sols nus à peu couverts » pour la période 2009-2013.

Mots clés : Occupation-utilisation du sol - Delta de la Mejerda – Télédétection – SIG - Modélisation.

Abstract:

This study aims to improve thematic knowledge on the evolution of land occupation and use, and landscape structures. Research and analysis done on this subject form data base needed for the various users. They are interesting to focus on environmental issues in general.

The main objective of this study is to develop a detailed mapping of the dynamics of land occupation and use in the delta Mejerda. We tried to go back to the mid-twentieth century, because most changes in the morphology of the delta landscape mingled with that of its water development. In addition, this area has undergone several constraints of different imposing more and more pressures such as:

- An intense suburbanization that transforms the natural landscape and farmland (habitat, industrial areas, roads ...).

- The development (industrial areas, roads ...) and sometimes inadequate interventions in areas at risk of flooding and stagnant water (Garaâ).

- A Transformation of the morphology of the land at the coast and including the lagoons of El Ghar Melh these interventions result in an alteration of the physical environment (erosion and fattening).

Today, the extension of analytical methods, such as integrated geographic information systems (GIS), and the benefits of aerospace remote sensing allow us to further studies in accessing information and multi-scalar multi - temporal formerly inaccessible. The problems raised by land occupation and use have led us to develop a reproducible method that allows for a short term prediction of the winter cover soil in intensive agricultural context (the case of irrigated Kalaât Landalous). An approximate approach based on an expert model that uses the rule of evidence, Dempster-Shafer, was chosen. Predictions of the winter cover soil were made for the period 2009-2013 using two assumptions: "Soils covered" and "bare little covered".

Keywords: Land occupation-use - Delta of Mejerda - Remote Sensing – GIS - Modeling.

الخلاصة:

تهدف هذه الدراسة إلى تعميق البحث حول تطور هياكل شغل واشتغال الأراضي والمشاهد الطبيعية. إن مختلف البحوث والتحليلات المجرات بشأن هذا الموضوع تشكل قاعدة معلومات لمختلف المستخدمين، كما أنها تركز على قضايا البيئة بشكل عام.

الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو وضع خرائط تفصيلية لديناميات شغل واشتغال الأراضي في دلّتا مجردة و قد حاولنا العودة إلى منتصف القرن العشرين حيث أن معظم التغييرات في مورفولوجية مشاهد الدلتا مرتبطة أساسا بعمليات التهيئة المائية. وعلاوة على ذلك، شهدت هذه المنطقة العديد من التأثيرات بتدخل أطراف مختلفة:

- تسارع نسق تحضر الضواحي و امتداد هذه الأخيرة على المجال الزراعي (سكن، مناطق صناعية، طرقات...)
- برامج التهيئة تقام في بعض الأحيان في مناطق معرضة لخطر الفيضانات.
- في بعض المناطق الساحلية على غرار بحيرة غار الملح أدى تدخل الإنسان إلى الإخلال بالتوازن البيئي (انجراف و ترسبات) و تغيير مورفولوجية شغل الأرض.

لقد ساهم كل من الاستشعار عن بعد و أنظمة المعلومات الجغرافية في تطوير طرق البحث و التحليل لاسيما عن طريق استمال معلومات متعددة الوسائط و تمثل حقبات مختلفة كان يصعب تجميعها.

أن التأثيرات الناجمة على شغل واشتغال الأراضي لاسيما مشكل الملوحة دفعنا إلى التفكير في انجاز نمذجة قصيرة المدى لإمكانيات تطور شغل واشتغال الأراضي خلال فصل الشتاء و ذلك في المنطقة السقوية بقلعة الأندلس. وقد استخدمنا النهج التقريبي الذي يقوم على أساس نموذج "دمستر شافر" انطلاقا من فرضية "مساحة زراعية مستغلة" و "مساحة زراعية غير مستغلة" للفترة 2009-2013.

الكلمات المفتاحية: شغل واشتغال الأراضي – دلّتا مجردة - الاستشعار عن بعد - نظم المعلومات الجغرافية – النمذجة.

TABLE DES MATIERES

Remerciements.....	i
Collaboration scientifique.....	iii
Résumés.....	iv
Table des matières.....	vi
Liste des abréviations.....	xii
INTRODUCTION GENERALE.....	1
Introduction :.....	2
1. Occupation et utilisation du sol : Distinctions sémantiques.....	3
2. Localisation et délimitation de la zone d'étude :.....	4
3. Problématique :.....	6
4. Les objectifs :.....	7
5. Contribution de la géomatique à l'étude de la dynamique d'occupation et d'utilisation du sol :.....	9
6. Méthodologie de travail :.....	10
7. Plan général du travail :.....	12
PREMIERE PARTIE - HISTORIQUE, CADRE NATUREL ET SEGMENTATION DU DELTA DE MEJERDA	14
Introduction :.....	15
Chapitre 1 : RECONSTITUTION HISTORIQUE DE LA FORMATION DU DELTA DE MEJERDA ET DE L'EVOLUTION DE SON OCCUPATION DU SOL.....	16
1- Formation et évolution du delta de Mejerda :.....	17
1.1- Evolution de la plaine littorale entre le XI ^{ème} siècle avant J-C. et le VI ^{ème} siècle après J-C. :.....	17
1.2- Le delta de la Mejerda : du VI ^{ème} siècle après J-C. jusqu'à son aspect actuel.....	18
1.3- Le changement du lit de Mejerda :.....	19
2- Passé lointain et passé proche : un aménagement hydraulique discontinu et une occupation du sol assez ponctuelle.....	21
2.1- De premiers civilisateurs du pays jusqu'à la colonisation byzantine :.....	22
2.2- De l'arrivée Arabes jusqu'à la période précoloniale :.....	23
2.3- La période coloniale : une modernisation qui a beaucoup changé le paysage.....	27
Chapitre 2 : LE SUPPORT DE L'OCCUPATION-UTILISATION DU SOL : UN POTENTIEL ECOLOGIQUE RICHE, QUI FAVORISE UNE MEILLEURE UTILISATION DES TERRES.....	30
1- La topographie : Deux formes de reliefs bien distinctes.....	31
1.1- La morphologie du delta :.....	31
1.2- La géologie du delta :.....	34
1.2.1- Les Jebels dominant le delta au Sud :.....	34
1.2.2. La plaine deltaïque de Mejerda :.....	34
1.2.3- Les Jebels dominant le delta au Nord :.....	36
1.2.4- Les Jebels dominant le delta à l'Ouest :.....	38
1.2.5- Les formations côtières basses : Les plages et les dunes.....	38
2- Un climat méditerranéen :.....	38
2.1- Des perturbations de deux origines :.....	39
2.2- Des précipitations irrégulières :.....	39
2.3- Un fort contraste pluviométrique saisonnier :.....	41
2.4- Des amplitudes thermiques faibles :.....	43

2.5- Une forte évapotranspiration.....	43
2.6- Les vents :.....	44
2.7- Dominance de l'étage bioclimatique « semi-aride supérieur » :.....	45
3- L'écoulement de surface et souterrain :.....	47
3.1- L'hydrologie du delta de la Mejerda :.....	47
3.2- Le régime hydrologique :.....	49
3.3- L'hydrogéologie du site :.....	49
3.3.1- Les nappes phréatiques :.....	50
3.3.2- La nappe profonde de la basse vallée de Mejerda :.....	53
4- Les caractéristiques du biotope :.....	53
4.1- L'influence du climat sur la pédogenèse :.....	53
4.2- La prédominance des sols d'apport alluvial des oueds :.....	54
4.3- La phyto-écologie du delta de Mejerda :.....	56
4.3.1- Les unités zonales :.....	57
4.3.2- Les unités azonales :.....	57
5- Le milieu humain :.....	60
5.1- La population :.....	60
5.2- Les aménagements :.....	61
5.2.1- Les travaux hydrauliques :.....	61
5.2.1.1- Les barrages :.....	61
5.2.1.2- Les lacs collinaires : Utiles à la recharge de la nappe.....	65
5.2.1.3- Les travaux de drainage :.....	65
5.2.2- Le reboisement :.....	67
Chapitre 3 : APPROCHE METHODOLOGIQUE, POUR L'ETUDE DES CHANGEMENTS DE L'OCCUPATION-UTILISATION DU SOL ET LA SEGMENTATION DU DELTA DE MEJERDA.....	69
1- La télédétection : Apports et limites.....	70
1.1- Les données images :.....	70
1.2- Les prétraitements :.....	73
1.3- Acquisition de données terrain :.....	76
1.4- Tentative de détection des changements par ACP multi-dates :.....	79
1.5- Classification et comparaison d'images :.....	82
2- Les documents non-satellites :.....	90
2.1- Les extraits Google Earth © :.....	90
2.2- Les cartes et les plans d'aménagements :.....	90
2.3- La photo-interprétation :.....	90
3- Les travaux de terrain :.....	92
4- Le rôle des SIG :.....	94
4.1- Caractéristiques des informations qui sont intégrées dans le SIG du delta :.....	94
4.2- Les dates seuils retenues pour la détection des changements :.....	95
5- La cartographie : Un outil pour la valorisation des résultats.....	96
5.1- Historique et évolution de la cartographie de l'occupation-utilisation des sols :.....	96
5.2- Quelques travaux et programmes de cartographie de l'occupation-utilisation des sols réalisés en Tunisie :.....	97
5.3- Quelques travaux et programmes d'occupation-utilisation des sols réalisés en Europe :.....	100
6- Le delta de la Mejerda : Un essai de segmentation en unités paysagères.....	102
Conclusion :.....	109
DEUXIEME PARTIE - DYNAMIQUE DE L'OCCUPATION-UTILISATION DU SOL DANS LE DELTA DE MEJERDA :	110

Introduction :.....	111
Chapitre 1 : LE MILIEU NATUREL : EVOLUTION DE SON OCCUPATION-UTILISATION DU SOL ET LEUR IMPACT SUR LA DYNAMIQUE DES PAYSAGES.....	112
1- Le domaine forestier :.....	113
1.1- Une évolution rapide du couvert forestier entre 1950 et 1982 :.....	113
1.2- Le couvert forestier se multiplie de même entre 1982 et 2007 :.....	117
1.3- Evolution des strates pré-forestières entre 1974 et 2007 :.....	120
1.4- Apport de la télédétection à l'étude de l'évolution du couvert forestier :.....	123
2- Evolution du front littoral du delta : Les plages sableuses.....	124
2.1- Foug El Oued : Une flèche en mobilité continue.....	124
2.2- La plage de Kalaât Landalous : un milieu un peu partout en voie d'érosion.....	128
2.3- La nouvelle embouchure de l'oued Mejerda :.....	131
2.4- La Plage de Raoued :.....	132
2.5- Les plages de Sidi Ali El Mekki et de Chatt El Hay : L'aménagement portuaire et son impact sur leur évolution.....	135
3- Evolution des zones humides :.....	137
3.1- Evolution des zones humides côtières :.....	138
3.1.1- Le complexe lagunaire de Ghar El Melh : le bonheur des uns.....	138
3.1.2- La lagune de Foug El Oued :.....	139
3.1.3- La sebkha de Sidi Bahroun :.....	140
3.1.4- Evolution de la sebkha de l'Ariana :.....	142
3.2- Evolution des zones humides intérieures : Le cas de garaât El Mabtouha.....	144
3.2.1- Evolution du système de drainage à garaât El Mabtouha :.....	146
3.2.2- L'impact de l'autoroute Tunis-Bizerte sur la garaâ d'El Mabtouha :.....	148
3.2.3- Des aménagements pour la mise en valeur de certaines zones humides :.....	149
Chapitre 2 : LE DELTA AGRICOLE : EVOLUTION DE SON OCCUPATION-UTILISATION DU SOL.....	150
1- Les cultures annuelles sèches : dominance de la céréaliculture.....	151
2- L'arboriculture : caractéristique de l'évolution de l'olivier et de vigne.....	156
2.1- L'oléiculture :.....	156
2.1.1- Un extraordinaire rétrécissement des « <i>Ghabas</i> » d'oliviers entre 1950 et 1974 :.....	156
2.1.2- Continuation du rétrécissement de l'oléiculture entre 1974 et 2007 :.....	159
2.2- La viticulture :.....	160
3- Les cultures irriguées :.....	164
3.1- L'essor et l'évolution des cultures irriguées dans le delta de Mejerda :.....	164
3.1.1- La "réforme agraire" : concept, objectifs et difficultés.....	165
3.1.2- La réforme agraire : le rôle de l'Office de la Mise en Valeur de la Vallée de Mejerda (OMVVM).....	166
3.1.3- Les travaux hydrauliques : Mobilisation de l'eau et mise en valeur des terrains.....	167
3.1.3.1- Réseau et mode d'irrigation :.....	170
3.1.3.2- Les travaux du service technique :.....	173
3.1.3.3- Les moyens financiers :.....	173
3.1.3.4- Etude de cas : le périmètre irrigué de Hbibia Nord.....	174
3.1.4- La responsabilisation des usagers et le désengagement progressif de l'Etat de la gestion des périmètres irrigués :.....	177
3.2- Les systèmes de production :.....	179
3.2.1- Les structures agraires :.....	179
3.2.2- Evolution du système de production en irrigué dans le delta de Mejerda :.....	181
3.3- Typologie des périmètres irrigués du delta de Mejerda :.....	187
3.3.1- Caractéristiques des périmètres irrigués de Manouba :.....	189

3.3.2- Etude de cas : Le périmètre irrigué de Hammed.....	191
3.3.2.1- Le milieu humain et structure des exploitations :.....	191
3.3.2.2- Evolution de l'occupation du sol et des rendements :.....	192
3.3.2.3- Quelques facteurs explicatifs de cette transformation dans les structures de production à Hammed :.....	195
3.3.3- Le cas du secteur de Ghar El Melh : une agriculture irriguée bien particulière.....	196
3.3.3.1- Les terrasses :.....	196
3.3.3.2- Les Gtaïas : une forme de poldérisation en évolution continue.....	196
3.3.3.3- Les polders gagnés sur les berges nord de la lagune de Ghar El Melh :.....	197
4- L'élevage et la pêche dans le delta de Mejerda :.....	198
4.1- L'élevage bovin constitue un objectif principal de la réforme agraire dans le delta de Mejerda :.....	198
4.1.1- Jusqu'à 1981 : Une amélioration de l'élevage bovin accompagnée de plusieurs difficultés....	198
4.1.2- Restructuration de l'élevage bovin à partir de 1982 et l'émergence d'un « bassin laitier » :.....	201
4.2- La pêche :.....	209
4.2.1- La pêche dans l'ancien port de Porto-Farina: entre essor et déclin.....	209
4.2.2- Le nouveau port de Ghar El Melh :.....	211
4.2.3- Le port de Kalaât Landalous :.....	213
5- L'écoulement et le stockage de la production :.....	214
5.1- L'écoulement de la production :.....	214
5.2- Le stockage de la production :.....	215
Chapitre 3 : EVOLUTION DES ZONES D'HABITAT ET DES PRINCIPALES ACTIVITES NON AGRICOLES DANS LE DELTA DE MEJERDA.....	217
1- Aperçu historique sur l'installation humaine dans le delta et difficulté de délimiter l'espace "périurbain" :.....	218
1.1- Aperçu historique sur l'installation humaine dans le delta :.....	218
1.2- Difficulté de délimiter l'espace " périurbain " :.....	219
2- Une extension spatiale du bâti assez remarquable :.....	220
2.1- Trois types pour mieux caractériser les tendances :.....	222
2.1.1- Le cas de la ville de Ghar El Melh :.....	222
2.1.2- Le cas de la ville de Kalaât Landalous :.....	223
2.1.3. Le cas de la ville de Tebourba :.....	224
2.1.4- Apport de la télédétection et des SIG à la cartographie de l'évolution des espaces urbains et "périurbains" :.....	226
2.2- Quelques facteurs déterminants dans le processus d'urbanisation :.....	228
2.2.1- Une croissance importante de la population :.....	228
2.2.2- Le facteur foncier :.....	229
2.2.3- Le renforcement du réseau routier :.....	231
2.3- Conséquences de l'extension spatiale du bâti dans le delta :.....	232
2.3.1- Une urbanisation consommatrice de l'espace agricole :.....	232
2.3.2- L'extension produite parfois dans des zones à risque d'inondation :.....	234
3- Les différents types d'habitations : Dominance de type habitat individuel.....	234
4- Les principaux secteurs économiques en dehors de l'agriculture :.....	236
4.1- L'industrie : domination des activités de textiles, d'habillements et d'agro-alimentaires.....	236
4.2- Le secteur touristique : un dynamisme très limité.....	240
Conclusion :.....	240
TROISIEME PARTIE - PROTOTYPE DE CARTE DE SYNTHESE, PROBLEMES ET APPROCHE PREDICTIVE DE L'OCCUPATION-UTILISATION DU SOL DANS LE DELTA DE MEJERDA :	242
Introduction :.....	243
Chapitre 1 : VERS UNE CARTOGRAPHIE DE SYNTHESE ET L'ELABORATION D'UN PROTOTYPE DE CARTE D'OCCUPATION-UTILISATION DU SOL.....	244

1- La sémiologie graphique et la cartographie de l'occupation-utilisation du sol : progrès et nécessité.....	245
1.1- La carte de synthèse : une utilité.....	245
1.2- Les bandes alternées :.....	246
2- La représentation cartographique du prototype :.....	247
2.1- définition du prototype :.....	247
2.2- La conception cartographique d'un prototype de carte :.....	248
2.2.1- Le choix de l'échelle :.....	248
2.2.2- La classification des données selon le type d'implantation :.....	249
2.2.2.1- L'implantation ponctuelle :.....	249
2.2.2.2- L'implantation linéaire :.....	250
2.2.2.3- L'implantation zonale :.....	251
2.2.3- La légende et les niveaux de cartographies de l'occupation-utilisation du sol :.....	251
2.2.3.1- La légende de la carte prototype :.....	251
2.2.3.2- Les niveaux de cartographies de l'occupation-utilisation du sol :.....	252
Chapitre 2 : QUELQUES PROBLEMES SOULEVES PAR L'OCCUPATION-UTILISATION DU SOL DANS LE DELTA DE MEJERDA.....	254
1- Les inondations : des évènements qui ont beaucoup changé la morphologie du delta.....	255
1.1- Caractéristiques des inondations de 1931, 1973 et 2003 :.....	256
1.2- L'ampleur des inondations de 1931, 1973 et 2003 :.....	258
1.3- Les inondations catastrophiques du 13 octobre 2007 dans le secteur de Sabelet Ben Ammar :...	259
2- Le risque de la salinisation et l'impact des rejets sur l'occupation du sol :.....	261
2.1- Le risque de la salinisation :.....	261
2.2- Les rejets industriels et leurs impacts sur l'occupation du sol :.....	266
3- L'augmentation du tarif de l'eau et les principaux problèmes du réseau d'irrigation :.....	268
3.1- L'augmentation du tarif de l'eau :.....	268
3.2- Les principaux problèmes du réseau des périmètres irrigués du delta :.....	269
4. Les problèmes d'ordre foncier et le conflit d'usage du sol :.....	271
4. 1- La mobilité foncière :.....	272
4. 2- Le morcellement des propriétés foncières :.....	273
4. 3- Le conflit d'usage du sol dans le delta de la Mejerda :.....	274
Chapitre 3 : MODELISATION PREDICTIVE DE L'OCCUPATION-UTILISATION DU SOL EN CONTEXTE AGRICOLE INTENSIF : APPLICATION A LA COUVERTURE HIVERNALE DES SOLS DANS LE PERIMETRE IRRIGUE DE KALAAT LANDALOUS.....	280
1. La modélisation de la couverture hivernale des sols : intérêts, rappels sur l'approche conceptuelle et le choix d'un modèle.....	281
1.1. Simuler l'évolution de la couverture hivernale des sols : quels intérêts ?.....	281
1.2. La couverture hivernale des sols : une classe aux limites floues.....	282
1.3. Rappels sur l'approche conceptuelle de la modélisation :.....	283
1.3.1. La modélisation en géographie :.....	283
1.3.2. Les facteurs de changements d'occupation-utilisation du sol :.....	283
1.3.3. Les modèles de simulation de l'évolution de l'occupation-utilisation du sol :.....	285
1.3.4. Prise en compte de l'incertitude et de l'imprécision dans le processus de modélisation :.....	286
1.4. Le choix d'un modèle pour simuler la couverture hivernale des sols en contexte agricole intensif :.....	287
1.4.1. La théorie des évidences de Dempster-Shafer :.....	288
1.4.2. Notions fondamentales :.....	288
1.4.3. Le cadre de discernement :.....	289
1.4.4. La définition des fonctions de masses, de crédibilité et de plausibilité :.....	290
1.4.5. La fusion des informations par la règle de Dempster :.....	292
1.4.6. La prise de décision :.....	293
2. Les données du site :.....	295

3. Application de la théorie des évidences pour la modélisation de la couverture hivernale des sols sur le périmètre irrigué de Kalaât Landalous :	300
3.1. Les données utilisées et la méthodologie adoptée pour le processus de modélisation :.....	300
3.1.1. Les données utilisées :.....	300
3.1.2. La méthodologie adoptée pour le processus de modélisation :.....	301
3.2. Détermination des changements de la couverture hivernale des sols à travers les images satellitales :	302
3.3. Les facteurs de changement :.....	305
3. 4. Application de la théorie des évidences pour la modélisation de la couverture hivernale des sols sur le périmètre irrigué de Kalaât Landalous :.....	310
3.4.1. Affectation des jeux de masse pour chaque hypothèse et fusion des données :.....	310
3.4.2. La prise de décision :.....	312
3.4.3. La prédiction de l'évolution des couvertures hivernales pour la période 2009-2013 :.....	315
Conclusion :.....	318
CONCLUSION GENERALE & PERSPECTIVES	320
Références bibliographiques.....	328
Table des illustrations.....	344
Table des tableaux.....	348
Table des photos.....	349
Annexes.....	350

LISTE DES ABREVIATIONS

5S: Simulation of the Sensor Signal in the Solar Spectrum (5S Model).
ACP : Analyse en Composantes Principales.
AIC : Associations d'Intérêt Collectif.
ANPE : Agence National de Protection de l'Environnement.
API : Agence de Promotion de l'Industrie.
AUGT : Agence de l'Urbanisme du Grand Tunis.
AVC : Analyse avec Vecteur de Changement.
BD : Base de données
BICHE : Bureau d'Ingénieurs Conseils en Hydraulique et Environnement.
BIRD : Banque Internationale pour la Reconstruction et le Développement.
BNT : Banque Nationale de la Tunisie.
CAO : Cartographie Assistée par Ordinateur.
CES : Conservation des Eaux et des Sols.
CGC : Caisse Générale de Compensation.
CGDR : Commissariat Générale au Développement Régional.
CMCU : Comité Mixte de Coopération Universitaire.
CMVVM : Commissariat de la Mise en Valeur de la Vallée de Mejerda.
CNES : Centre National d'Etudes Spatiales (France).
CNT : Centre National de Télédétection (Tunisie).
CORINE : Coordination des Informations sur l'Environnement.
CRDA : Commissariat Régional du Développement Agricole.
CTV : Cellules Territoriales de Vulgarisation.
DAO : Dessin Assisté par Ordinateur.
DGBGTH : Direction Générale des Barrages et des Grands Travaux Hydrauliques.
DGF : Direction Générale des Forêts.
DGRE : Direction Générale des Ressources en Eaux.
DGRF : Direction Générale des Ressources Forestières
DGRST: Direction Générale de la Recherche Scientifique et de la Technologie.
DIA : Direction des Investissements Agricoles.
DPM: Domaine Public Maritime.
DST: Dempster-Shafer Theory.
ENS: Ecole Nationale Supérieure.
EPA: l'Essentiel Potentiel Agricole.
ETP : Evapotranspiration.
FAO: Food and Agriculture organization.
FOSDA : Fonds Spécial pour le Développement Agricole.
GD : Groupement de Développement.
GIC : Groupements d'Intérêt Collectif.
GP : Grand Parcours.
GPS : Global Positionning System.
IAA : Industries Alimentaires et Agricoles.
IAURIF : Institut d'Aménagement et d'Urbanisme de la Région d'Île-de-France (France).
ICH : Industrie Chimique.
IGN: Institut Géographique National (France).
IMCCV : Industries de Matériaux de Constructions, Céramiques et Verreries.
IMME : Industries Métallurgiques, Mécaniques et Electriques.
INFOTEL : Inventaire des Forêts par Télédétection.

INGREF : Institut National de Génie Rural, Eaux et Forêts.
INM : Institut National de Météorologie.
INS : Institut national de statistique.
IRA : Institut des Régions Arides.
IRD : Institut de Recherche pour le Développement.
ITHC : Industries de Textiles, Habillements et Cuirs.
LUCC: Land Use and Cover Change.
MA : Ministère de l'Agriculture.
MARH : Ministère de l'Agriculture et des Ressources Hydrauliques.
MEHAT : Ministère de l'Équipement, l'Habitat et l'Aménagement de Territoire.
MIN : Marché d'Intérêt National.
MNA : Modèle Numérique d'Altitude.
MNT : Modèle Numérique de Terrain.
NDVI: Normalized Difference Vegetation Index.
NOAA - AVHRR: National Oceanic and Atmospheric Administration Advanced Very High Resolution Radiometer.
ODTS : Office de développement de la Tunisie Septentrionale.
OMMP : Office de la Marine Marchande et des ports.
OMVVM : Office de la Mise en Valeur de la Vallée de Mejerda.
OTC : Office de la Topographie et de la Cartographie.
OTD : Office des Terres Domaniales.
PAR : Plan d'Aménagement Rural.
PAS : Politique d'Ajustement Structurel.
PASA : Programme d'Ajustement Structurel Agricole.
PAU : Plan d'Aménagement Urbain.
PDEN : Plan Directeur des Eaux du Nord.
PIR: Proche InfraRouge.
POS : Plan d'Occupation des Sols.
PPI : Périmètre Public Irrigué.
RADAR: Radio detection And Ranging
REA: Relative Egale Apparence.
RMS: Root Mean Square (Error).
SCEES : Service Central des Etudes et Enquêtes Statistiques (France).
SCET : Société Centrale pour l'Équipement de Territoire.
SDATN : Schéma Directeur d'Aménagement de Territoire National.
SIG : Système d'Information Géographique.
SMVDA : Sociétés de Mise en Valeur et de Développement Agricole.
SPOT : Satellite Probatoire d'Observation de la Terre.
THRS : Très Haute Résolution Spatiale.
ZEA : Zones à Egale Apparence.

INTRODUCTION GENERALE

Introduction :

L'étude de l'évolution de l'occupation du sol et de son utilisation est intéressante pour mettre l'accent sur les problèmes environnementaux en général. Elle est nécessaire pour déterminer la nature et le mode d'intervention des communautés humaines qui modifient les formes d'utilisation globale des sols selon l'évolution des besoins. Les recherches et les analyses faites sur l'occupation et l'utilisation du sol forment une base d'information nécessaire au planificateur, à l'aménageur,...

Au niveau international, le thème de l'occupation-utilisation du sol a fait l'objet de plusieurs recherches, programmes et rapports. L'un des plus importants, est le rapport présenté par la communauté scientifique du programme international LUCC « Land Use and Cover Changes », (Changements de Couverture et d'Utilisation des Sols), pendant les journées « Open Science Meeting » en janvier 1996 à Amsterdam. Ce programme insiste sur l'importance d'un effort international, pour mieux comprendre les effets découlant de la gestion des sols, ainsi que leurs impacts sur la variabilité spatiale et temporelle de l'utilisation des sols (PODAIRE A., 2003). Il pose aussi, le problème d'échelles à adopter pour une telle problématique, et indique l'importance des éléments historiques dans l'étude de l'occupation-l'utilisation du sol.

Par ailleurs, les recherches dans cette thématique, facilitent la gestion durable des terres et peuvent être utilisées à titre d'exemple pour la planification, la surveillance et l'évaluation du déploiement de l'activité industrielle. La détection des changements des couvertures du sol peut aboutir à des modifications des conditions climatiques locales ou régionales. Enfin, les connaissances sur l'occupation-utilisation du sol, servent à développer des stratégies qui visent à équilibrer les utilisations conflictuelles et les pressions de l'urbanisation.

Jusqu'au début des années « 90 » et malgré son importance, le thème de "l'occupation-utilisation" du sol a été rarement traité dans les études académiques en Tunisie et surtout avec les moyens et les outils de la télédétection et des systèmes d'informations géographiques. Alors que, ce thème a été largement étudié par les différents organismes en France comme le SCEES (Service Central des Etudes et Enquêtes Statistiques du Ministère de l'Agriculture), l'IGN (Institut Géographique National), CNES (Centre National des Etudes Spatiales).

En Tunisie, ce thème a été étudié par les services spécialisés au sein de MARH (Ministère de l'Agriculture et des Ressources Hydrauliques), par le Centre National de Télédétection (CNT), l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD), l'Institut des Régions Arides (IRA).

Très souvent, ces différents organismes ont accordé au concept de l'occupation-utilisation du sol un sens limitatif. Ils ont souvent traité la carte de l'occupation du sol comme un document thématique de type statique indiquant seulement la répartition et la localisation des phénomènes. Parfois, les publications de ces services spécialisés « font ressortir que l'occupation du sol se limitait tout simplement à l'occupation agricole du sol », (BEN SALEM M., 1996).

1. Occupation et utilisation du sol : Distinctions sémantiques

Même si les termes « occupation du sol » et « utilisation du sol » ont des traits communs, leurs définitions ne sont pas semblables. La couverture (occupation) du sol fait référence à la couverture de la surface sur le sol, que ce soit de la végétation, des infrastructures, de l'eau, du sol nu ou autres. Selon JOLY F. (1976), « L'occupation du sol, c'est la manière dont le territoire est couvert et organisé : C'est la manière dont l'homme a pris possession de l'espace géographique et l'a façonné pour y vivre ». Cette citation, comporte une notion de « répartition » et « d'organisation ». L'occupation du sol peut être succinctement définie comme la couverture biophysique de la surface des terres émergées (FAO, 1998), qui désignera les aspects génétiques ou morphologiques (in STEINBERG J., 1996). La carte d'occupation du sol tente à mettre en valeur la relation entre l'homme et son milieu à l'aide des différents procédés cartographiques (OMRANE M.N., 1977).

L'utilisation du sol fait référence à l'usage qu'on fait du sol, par exemple les loisirs, l'habitat ou l'agriculture...Selon JOLY F. (1976), « L'utilisation du sol, c'est la manière dont le territoire est employé et exploité ; c'est la manière dont l'homme a su tirer parti de l'espace géographique et le marquer par son activité ». L'utilisation du sol fait « intervenir des aspects fonctionnels : exploitation forestière, industrie, activités tertiaires, etc. », (STEINBERG J., 1996). Il s'agit de l'utilisation de l'espace à des fins productives (occupation agricole, pastorale, industrielle...). Quand il s'agit d'un espace urbain, on parle « d'organisation de l'espace, dans le cadre de la répartition des implantations d'activités, de services et de résidence » (GEORGE P. & VERGER F., 1970).

Entre l'occupation du sol et l'utilisation du sol, il existe des corrélations physiques qui se traduisent par les fortes relations entre la distribution des habitants, des aménagements, du bâti d'une part et les caractéristiques du milieu surtout naturel. Or, il existe aussi une forte corrélation entre le comportement des acteurs (groupe social) et les données économiques, c'est-à-dire les choix assignés par l'homme aux espaces productifs, forestiers...ainsi qu'aux infrastructures et espaces non productifs. Ainsi, « il existe une corrélation majeure entre l'utilisation du sol et son occupation » (BEN SALEM M., 1996).

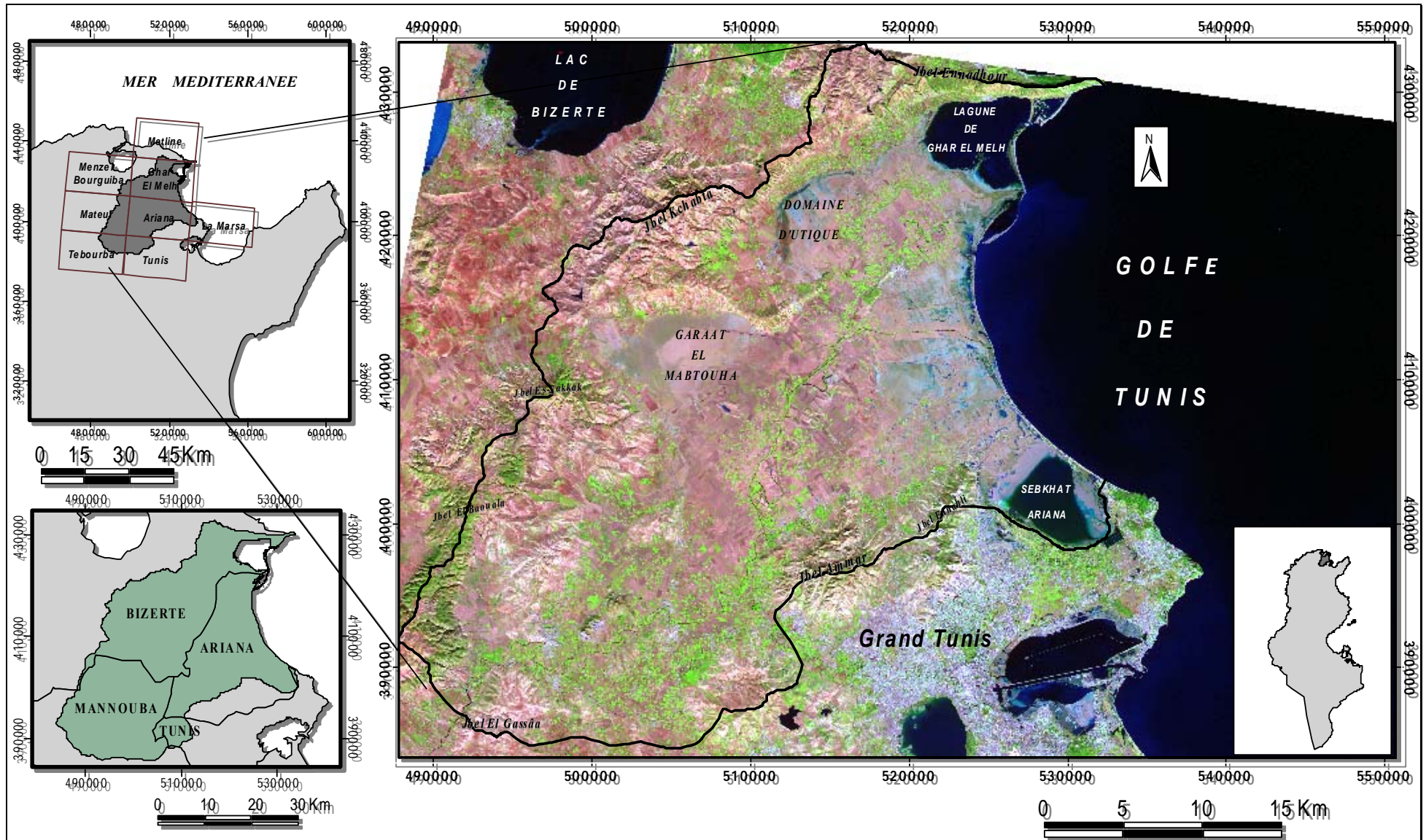
Toujours selon JOLY F. (1976), les cartes d'occupation et d'utilisation du sol sont : « des cartes physionomiques ; elles décrivent un paysage dans ses rapports avec l'environnement physique et humain... ». Il est donc important de faire la distinction entre la couverture du sol et l'utilisation du sol, ainsi que les informations que nous pouvons en retirer, mais il faut signaler que "les deux notions sont inséparables". En télédétection, les propriétés mesurées se rapportent à la couverture du sol (occupation), à partir de laquelle l'utilisation du sol peut être déduite à l'aide de données auxiliaires ou de connaissances préalables du terrain.

2. Localisation et délimitation de la zone d'étude :

Située dans la basse vallée de la Medjerda, le delta s'étend sur une superficie totale d'environ 1310 km² (131000 hectares), y compris 30,2 km² (3020 hectares) pour le complexe lagunaire de Ghar El Melh et 35,22 Km² (3522 hectares) pour la sebkha de l'Ariana.

Le delta de Mejerda est une zone très basse, lacustre et marécageuse au centre, assez accidentée autour de l'agglomération de Tunis, formée de collines escarpées, de grandes dépressions lacustres et de plaines alluviales (SETHOM H & KASSAB A., 1981). Il constitue une zone de subsidence où, malgré l'importance de l'alluvionnement, les dépressions lacustres d'eau douce ou « Garaâ », les sebkhas d'eau salée et les marécages occupent encore d'importantes superficies (JAUZEIN A., 1967) (ill. n°1).

Le delta de Mejerda, séparé de la ville de Tunis par quelques Jebels ou collines escarpés, « occupe l'emplacement d'un ancien golfe marin que la Mejerda n'a cessé de combler à la suite de plusieurs modifications que subis son cours » (JAUZEIN A., 1967). Globalement cette zone présente deux formes topographiques bien distinctes : une plaine d'altitude moyenne autour de 50 mètres entourée de Jebels d'altitude modeste d'environ 300 mètres (ill. n°1).



ill. n°1 : Le delta de Mejerda : localisation et délimitation.

Au Nord, on trouve que la zone d'étude est limitée par ; Ras Et Tarf (Cap Ghar El Melh) et successivement les Jebels ; Eddmina, Ennadhour, El Jaouf, Hkhima, Rayenne, Ezzouaouine, Edhhillia, et-Talla, Kchabta et El Mellaha. A l'Ouest, le delta est limité successivement par les Jebels ; Es-Sakkak, Tentna, El Emmilha, El Hallouf, El Fernana, El Metouia et El Baouala, et la colline nommée, Er-Ragouba et-Touila.

Au Sud, la zone d'étude est limitée par Henchir Toungar, Henchir Khouja, Jebel El Gassâa, Henchir El Hathermine, Jebel Aïn El Krime, l'agglomération de Sanhaja I et Sanhaja II, Jebel El Haj Hassine, Jebel Ammar, l'agglomération d'El Bakri, Jebel Ennahli, Jebel Sidi Amor et la limite Ouest et Sud Est de Sebkhata Ariana (ancienne embouchure d'Oued Mejerda). A l'Est le delta de Mejerda est limité par le Golfe de Tunis (ill. n°1).

La zone étudiée est couverte par les feuilles n°3 de Metline, n°6 de Menzel Bourguiba, n°7 de Porto Farina (Ghar El Melh), n°12 de Mateur, n°13 de l'Ariana, n°14 de la Marsa, n°19 de Tebourba et n°20 de Tunis, de la carte topographique au 1/50000 de la Tunisie. Elle s'étend sur une superficie importante des gouvernorats de Bizerte, Manouba, Ariana et Tunis (ill. n°1).

3. Problématique :

Le delta de Mejerda a fait l'objet de plusieurs études sectorielles et/ou localisées, sans qu'il y ait une synthèse cartographique. Les analyses de certains paramètres de la zone d'étude sont en majorité basées sur une approche classique.

Pour une mise en valeur optimale de l'espace, la connaissance précise du terrain, de son occupation et utilisation du sol est indispensable. Aujourd'hui, l'extension des méthodes d'analyses intégrées comme les systèmes d'informations géographiques (SIG), et les avantages de la télédétection aérospatiale, nous permettent d'approfondir les études en accédant à une information multi-scalaire et multi-temporelle, jadis inaccessible, et de faire une cartographie numérique détaillée facilement gérable et mise à jour.

Le delta de Mejerda subit plusieurs contraintes de diverses origines qui posent des pressions de plus en plus fortes. A côté des agents naturels, l'intervention de l'Homme, fait subir à la zone d'étude des changements dans les caractères de l'espace et a provoqué pas mal de graves problèmes dans toute la zone :

- Une périurbanisation intense qui transforme le paysage naturel et les terres cultivables du delta (habitats, zones industrielles, infrastructures routières, gaz, électricité ...).

Les études sur l'occupation-utilisation du sol deviennent plus avantageuses à cause de la concurrence entre l'urbanisation et la précaution d'une agriculture alimentaire.

- Des aménagements (zones industrielles, infrastructures routières...) et des interventions qui ne sont pas toujours inadéquates au sein des zones à risque d'inondation et de stagnation d'eau (Garaâ).

- Au niveau du littoral et notamment le complexe lagunaire de Ghar El Melh, ces interventions se traduisent par une altération du milieu physique (érosion et engraissement) et une transformation de la morphologie de l'occupation du sol.

Cette étude, devrait tenter de montrer dans quelle mesure il y a eu dans le delta de Mejerda « passage d'un espace purement paysan d'avant les années, '1960' à l'espace plurifonctionnel d'aujourd'hui ». Autrement dit, passage progressif d'une économie, fondée principalement sur l'agriculture, à une économie de « type divers ». Sans négliger le rôle des investissements et de la réforme agraire dans ces profondes mutations économiques.

Le présent travail pose aussi d'autres questions, notamment l'importance du facteur « eau » dans le changement de l'occupation et l'utilisation des sols. En effet, la présence de l'eau dans le delta pendant des siècles n'a pas entraîné l'agriculture irriguée. Il s'agit là donc de voir la politique liée à la maîtrise de l'eau, les acteurs qui interviennent et le rapport entre les aménagements hydrauliques et l'essor d'un bassin irrigué qui domine en grande partie la couverture actuelle du sol.

Dans cette recherche, il s'agit aussi d'apprécier l'apport de la télédétection et des systèmes d'informations géographiques à l'étude de la dynamique de l'occupation-utilisation du sol. L'outil cartographique et sa contribution a facilité l'analyse des relations spatiales, du changement de couverture des sols et en particulier la typologie des paysages.

Enfin, il reste à évoquer le problème de l'échelle dans l'étude de l'occupation-utilisation sol. Une échelle donnée étant adaptée à une question donnée, seule, une combinaison d'observations et d'analyses aux différents niveaux d'échelle permettra une meilleure compréhension de la dynamique spatiale et temporelle (la dynamique d'échelles).

4. Les objectifs :

Cette étude a pour ambition d'améliorer les connaissances thématiques sur l'évolution de l'occupation et de l'utilisation des sols et des structures paysagères, mais aussi de développer des méthodes de traitement de donnée spatialisée permettant de mettre ces changements en évidence et de les simuler. Elle s'insère dans les problématiques de

recherches actuelles en géographie. Elle se situe à l'interface nature/sociétés (la pression anthropique sur le milieu à savoir la façon dont l'homme occupe et utilise les sols). Elle traite des dynamiques spatiotemporelles des territoires en mettant en évidence la vulnérabilité de certains espaces vis-à-vis d'un risque environnemental (inondation...).

L'objectif principal de la présente étude est de faire une cartographie détaillée de la dynamique d'occupation et d'utilisation du sol dans le delta de Mejerda, espace jugé très sensible et à haut risque, en se basant sur les indicateurs et les processus d'évolution de la zone. Cette étude suppose le recours à des outils de gestion et de suivi bien adaptés, comme les systèmes d'informations géographiques et les données satellitales disponibles dans le cadre de cette recherche. On essayera de remonter à la moitié du XX^{ème} siècle. Le choix de cette date est justifié par deux raisons : le premier est d'ordre thématique. En effet, «depuis près d'un demi-siècle, l'histoire de la basse vallée de Mejerda se confondait, avec celle de son aménagement hydraulique» (CHERIF A., 1998). Le deuxième est d'ordre technique concernant la disponibilité de documents fiables en termes de précision (les cartes topographiques au 1/50000, révisées en 1949 et 1950). Cependant, nous ne pouvons pas intégrer les données des anciennes cartes (1891 et 1935) car pour définir une comparaison avec nos documents et obtenir un résultat acceptable, nous avons besoin de connaître leurs techniques de levé topographique.

Ainsi, la finalité envisagée est :

- De faire une analyse géographique détaillée visant à appréhender l'espace géographique en termes d'homogénéité et d'aboutir à une typologie des espaces (naturels et urbains) en fonction de l'interaction homme-milieu.
- D'étudier l'évolution de l'occupation et l'utilisation du sol, notamment, les activités humaines.
- D'étudier les aménagements des espaces périurbains, et voir les effets de la périurbanisation pour une zone à risque d'inondation.
- De déterminer des échelles et vitesses de changement pour les principaux types d'utilisation et de couverture des sols pour les espaces géographiques homogènes retenus.
- De faire une cartographie de l'occupation et l'utilisation du sol (milieux naturels, activités agricoles, zones d'habitation et d'activité humaine, zones de patrimoine

archéologique...) pour la zone concernée en respectant les règles de la séméiologie graphique.

- La mise en place d'une base de données géographique, sous système d'informations géographiques (SIG) multi-sources, pour aboutir à la mise en œuvre d'un produit cartographique exploitable (en utilisant le logiciel Arc view).
- De construire une base de données exploitable pour d'autres travaux telle que la réalisation d'un atlas numérique sur le delta de la basse vallée de Mejerda.
- De faire une simulation prospective de l'occupation des sols dans un contexte agricole intensive (périmètre irrigué) à travers un secteur choisi de la zone d'étude.

5. Contribution de la géomatique à l'étude de la dynamique d'occupation et d'utilisation du sol :

La géomatique est un ensemble de disciplines qui fait appel aux technologies de mesure de la terre ainsi qu'aux technologies de l'information pour faciliter l'acquisition, le traitement et la gestion des données spatiales. En tant qu'un champ d'activité scientifique, la géomatique intègre la télédétection, les systèmes d'informations géographiques, les GPS...et la cartographie.

L'accès aux nouvelles sources de données provenant des images satellitaires permet l'obtention d'informations plus précises, ce qui autorise une extrapolation spatiale des informations à partir de la connaissance des caractéristiques de quelques zones tests. (EL GAROUANI A., 1995). Grâce à leur répétitivité, ces images offrent la possibilité de cartographier et de suivre le changement de l'occupation et de l'utilisation du sol.

Les images de télédétection constituent des comptes numériques pour l'établissement d'une cartographie d'occupation des sols (GIRARD M.C. & GIRARD C.M., 1999). On distingue globalement deux méthodes de détection des changements ; la comparaison d'images pixel à pixel (on étudie la trajectoire radiométrique du pixel sur des combinaisons d'images multi-dates) ou la comparaison de classification d'images (LAGABRIELLE E., 2003). La télédétection des changements d'occupation et d'utilisation du sol implique des procédures et des choix spécifiques (résolution du capteur, choix des images, corrections radiométriques et géométriques), donc il faut que la nature des changements étudiés soit détectable par le capteur. De même, il faut établir le rapport entre la résolution de ce dernier

et l'échelle de phénomène dynamique que l'on cherche à quantifier et à qualifier (LAGABRIELLE E., 2003).

Les systèmes d'informations géographiques facilitent le suivi des changements d'occupation et d'utilisation du sol. L'intégration des résultats issus de traitements des images satellitaires donne la possibilité de faire des interprétations et des synthèses avec d'autres sources de données. Le SIG sera alors utilisé comme outil de synthèse et d'analyse (BONN F., 1996).

La cartographie est l'un des moyens de restitution des résultats issus des différents traitements sous SIG. Qu'elles soient simples ou complexes, les cartes relèvent d'une démarche scientifique spécifique. Cette démarche, doit être efficace et la plus objective possible ; elle exige l'application d'un certain nombre de principes et l'apprentissage du langage de la sémiologie graphique (ZANIN C. & TREMELO M.L, 2003). L'absence d'une cartographie unifiée de l'occupation et l'utilisation du sol en Tunisie, nous a ramené à élaborer un prototype de carte d'occupation et d'utilisation du sol basé sur les principes de la sémiologie graphique.

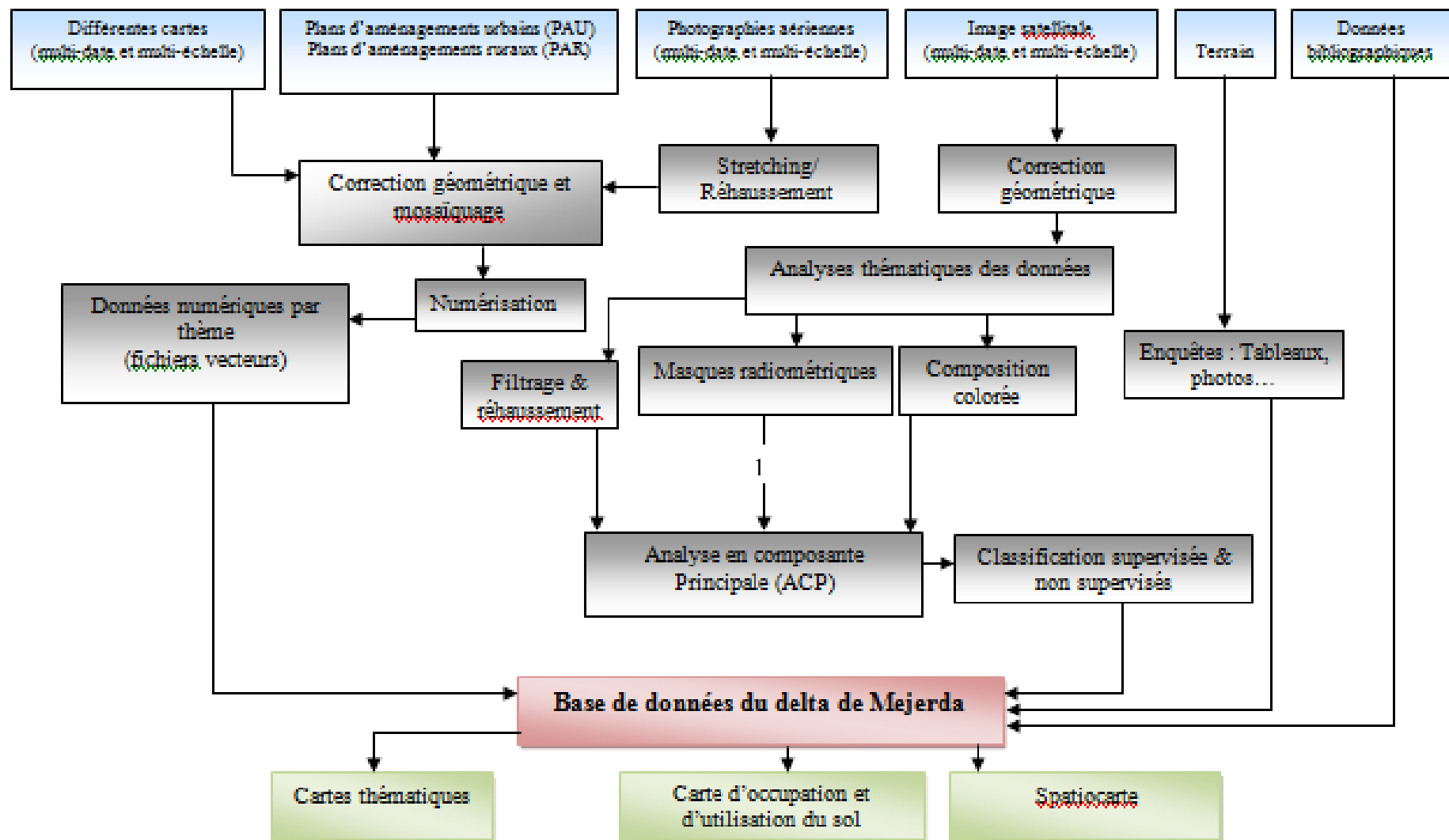
6. Méthodologie de travail :

Pour étudier l'évolution de l'occupation et l'utilisation du sol par télédétection et systèmes d'informations géographiques, nous procédons comme suit :

- Faire une synthèse bibliographique pour avoir une idée sur les caractéristiques de la zone d'étude, la nature des activités...

Se concentrer sur la mise en forme d'une base de données à travers plusieurs documents (cartes, photographies aériennes, images satellitaires, plans d'aménagements...). La première phase consiste à harmoniser les documents existants (correction géométrique, mosaïquage, amélioration de contraste) pour avoir une base de données à référence spatiale (ill. n°2). La deuxième phase consiste à acquérir les informations jugées utiles dans notre travail (courbes de niveaux, points côtés, végétation naturelle, habitat aggloméré et dispersé, périmètres irrigués, patrimoine archéologique, réseau hydrographique, réseau de drainage, étendues d'eau...) que ce soit en implantation ponctuelle, linéaire ou zonale.

- Faire une confrontation avec la vérité terrain, en vue de confirmer et/ou de compléter



III. 2 : Organigramme méthodologique

les résultats obtenus lors de la comparaison entre les photographies aériennes de 1962, de 1974 et de 2000, les images XS de Spot correspondant aux missions de 1988, de 1999 et de 2002, les extraits Google Earth© 2007, ainsi que les cartes topographiques au 1/25000 et au 1/50000.

Les documents obtenus permettront d'évaluer et de cartographier l'évolution de l'occupation du sol pour les milieux naturels, les activités agricoles, l'habitat et les zones de patrimoine archéologique...

La dernière étape consiste à restituer les informations à travers des produits cartographiques tels que :

- Des cartes thématiques qui montrent la dynamique des phénomènes étudiés et les inter-relations spatiales...
- La carte d'occupation et d'utilisation du sol, représente tous les thèmes étudiés après généralisation et modélisation cartographique.

7. Plan général du travail :

La présente étude a pour objectif général de cartographier la dynamique d'occupation et d'utilisation du sol dans le delta de Mejerda. Le manuscrit est subdivisé en trois parties :

- La première partie est consacrée à une reconstitution historique sur la formation et l'évolution du delta, l'évolution des aménagements et de recouvrement du sol. Elle est aussi consacrée à l'étude du cadre naturel et écologique dans lequel se déroule l'occupation du sol, une occupation et une utilisation très différenciées et intégrales. Cette partie est consacrée également aux outils, moyens et techniques cartographiques utilisés pour étudier la dynamique d'occupation et d'utilisation du sol.

Après avoir indiqué les différents types de données, les traitements nécessaires, nous mettrons l'accent sur l'apport de la géomatique en matière d'étude de la dynamique d'occupation et d'utilisation du sol ainsi que ses limites. Nous essayerons également d'aboutir à une méthode cartographique basée sur la symbolique utilisée par Jaques BERTIN (sémiologie graphique). Le but global de cette partie est d'aboutir à une division spatiale (segmentation ou typologie) basée sur les modes apparents d'occupation humaine et agricole du sol en fonction de l'interaction « homme-milieu ».

- La deuxième partie est consacrée à l'étude de la dynamique de l'occupation et de l'utilisation du sol proprement dite. Nous analyserons l'évolution des espaces géographiques homogènes (partitionnés dans la première partie), ainsi, nous étudierons les processus et les mécanismes qui y agissent. Le suivi de la dynamique est basé sur l'exploitation des documents multi-sources et multi-dates harmonisés et traités (première partie). Les données bibliographiques, les recueils statistiques, l'enquête socioéconomique et la vérité terrain sont aussi, des sources d'informations indispensables à l'étude de l'évolution de l'occupation et de l'utilisation du sol dans le delta de la basse vallée de Mejerda.
- La troisième partie est consacrée à l'élaboration d'un prototype de carte d'occupation-utilisation du sol. Nous rappellerons également les différents problèmes issus d'une telle occupation ou utilisation du sol dans la zone d'étude. Une étude prédictive de l'occupation des sols en contexte agricole intensif (périmètre irrigué) est menée à travers des parcelles choisies de la zone d'étude. La modélisation nous permet de voir les scénarios d'évolution des couvertures en fonction des modes d'exploitation et d'intervention de l'Homme.

PREMIERE PARTIE
HISTORIQUE, CADRE NATUREL ET
SEGMENTATION DU DELTA
DE MEJERDA

Introduction :

Cette première partie décrit le contexte général de l'étude. Elle rappelle brièvement les différentes phases historiques de la reconstitution et de la formation du delta de Mejerda. Elle présente le cadre naturel et anthropique du secteur délimité, ainsi que les outils utilisés et propose enfin un essai de segmentation du delta en fonction des unités paysagères homogènes.

En premier lieu, il s'agit de présenter les différentes phases de la formation du delta. Dans ce contexte, beaucoup de scénarios ont été proposés par des géographes et des géologues. Leurs arguments sont basés sur des ouvrages de l'histoire ancienne. Par la suite, il s'agit de rappeler l'histoire des aménagements hydrauliques et de l'occupation du sol.

Le second chapitre est une présentation générale de la zone d'étude, du milieu naturel qui est le support de l'occupation-utilisation du sol, ainsi que la présentation de quelques aspects du milieu humain. L'attention est portée sur le rôle de l'homme et son intervention dans la nature au moyen des différents aménagements.

Enfin, le troisième et dernier chapitre de cette première partie est une présentation méthodologique du travail. Il s'articule autour des données utilisées, des traitements effectués, ainsi que le rôle de la télédétection et des systèmes d'informations géographiques dans la cartographie et la conception de la carte d'occupation et d'utilisation du sol du delta de Mejerda. L'intégration des données dérivées à partir des cartes topographiques, des photographies aériennes, des extraits Google Earth et des images satellitaires, nous a permis de détecter les changements des couvertures du sol.

Un essai de segmentation (découpage) du delta en unités paysagères homogènes basé sur les caractéristiques du milieu naturel, la nature d'exploitation des terrains, ainsi que d'autres paramètres climatiques et biophysiques qui nous a permis par la suite de déterminer les vitesses d'évolution.

Chapitre 1 :

**RECONSTITUTION HISTORIQUE
DE LA FORMATION DU DELTA DE MEJERDA
ET DE L'EVOLUTION DE SON OCCUPATION DU SOL**

1- Formation et évolution du delta de Mejerda :

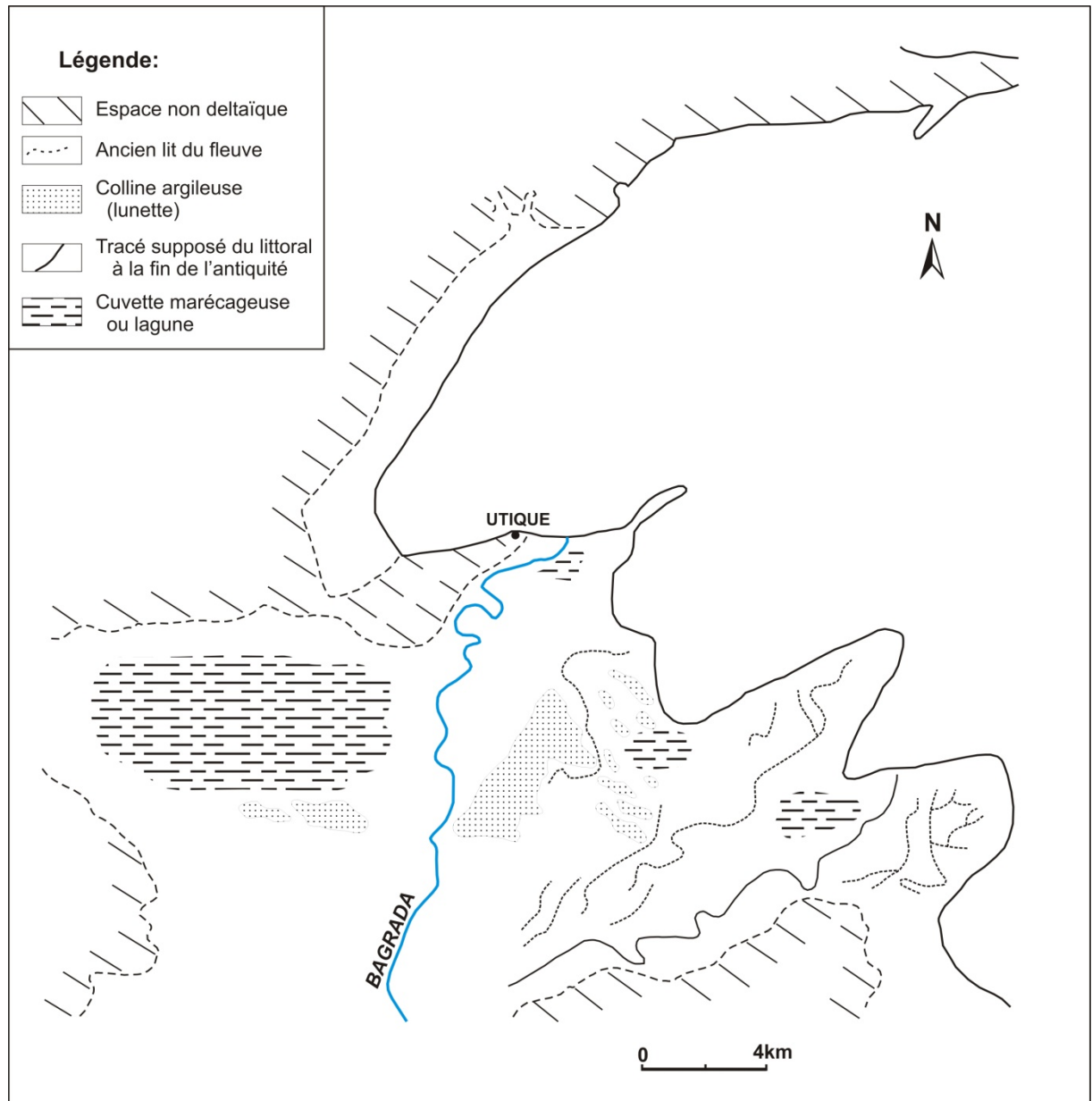
La formation et l'évolution du delta de Mejerda, ont fait l'objet de plusieurs recherches. L'exploitation de la bibliographie a permis de suivre les processus de reconstitution qui sont indispensables depuis le XI^{ème} siècle avant J.C. jusqu'au XX^{ème} siècle après J.C. Le changement successif du tracé de la plaine littorale (le delta) depuis longtemps jusqu'aux périodes les plus récentes est le résultat de l'évolution du littoral dans l'ancien golfe d'Utique et de son colmatage progressif (ROMDHANE M.S., 1985).

1.1- Evolution de la plaine littorale entre le XI^{ème} siècle avant J-C. et le VI^{ème} siècle après J-C. :

Le delta de Mejerda s'est construit par accumulation de sédiments lors des défluviations successives du Sud vers le Nord, ce qui représente un gain de 450 km² sur la mer (PIMIANTA J., 1959 et JAUZEIN A., 1971 in PASKOFF R., 1985). La plaine deltaïque était un ancien golfe marin nommée baie d'Utique où se trouvait en bord de mer le port antique d'Utique (ill. n°3) aujourd'hui comblé par les sédiments alluviaux et éloigné du rivage d'une dizaine de kilomètres. Le promontoire de Kalaât Landalous était alors une presque île.

La reconstitution de l'histoire du delta a été réalisée plus récemment par PASKOFF R. et TROUSSET P. à l'aide d'une prospection archéologique et géomorphologique entre 1991 et 1993 (ill. n°4). Leur démarche s'articule sur les renseignements tirés des récits des grands événements de la ville portuaire d'Utique et ses environs, notamment pendant les Guerres Puniques et jusqu'à la Guerre Civile, et sur des indices d'établissements puniques ou romains datés à travers l'analyse de céramiques recueillies sur le terrain par décapage de la surface. Des renseignements très précis ont été donnés par Polybe sur un épisode de la guerre des Mercenaires au III^{ème} siècle avant J.C. qui prouvent que le fleuve « Bagrada » ancien nom de Mejerda se déversait dans la mer à l'extrémité des collines du Jebel Ammar.

L'un des résultats de cette prospection est d'établir une carte de localisation des sites archéologiques prospectés dans le delta de Mejerda et de les cartographier au milieu du III^{ème} siècle après J.C. (ill. n° 4). La plaine alluviale est limitée au Nord par le Jebel Ennadhour et au Sud par le Jebel Ammar. Le comblement s'est réalisé par le dépôt de vases et de limons transportés lors des crues.

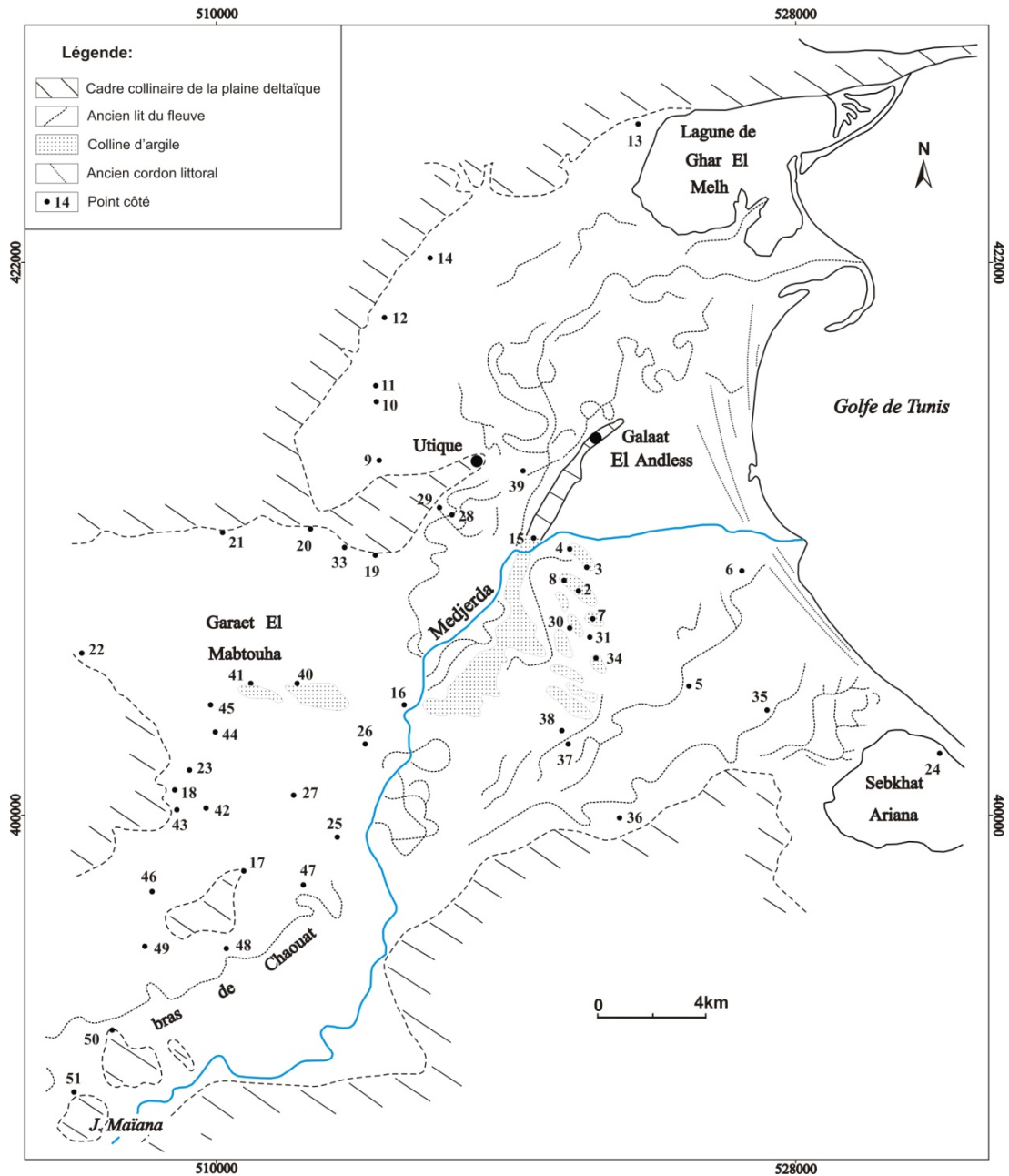


ill. n°3 : Le delta de Mejerda à la fin de l'antiquité
(D'après PASKOFF R. et TROUSSET P., 1992 : document repris au niveau du dessin)

L'érosion a donc eu un rôle considérable dans la fourniture en sédiments notamment avec les grands défrichements par les Carthaginois et surtout les Romains.

1.2- Le delta de Mejerda : du VI^{ème} siècle après J-C. jusqu'à son aspect actuel.

Au VI^{ème} siècle après J-C. le mouvement de remontée du lit vers le Nord, a entraîné la formation d'un bras de terre qui annonçait déjà la création de la lagune de Ghar El Melh et le comblement partiel de la baie de Sidi Bou Hnech et celle de l'Ariana (ROMDHANE M.S., 1985). La forme actuelle du delta n'a été atteinte qu'au cours de cet épisode. En 1973, la Mejerda a changé de cours en se jetant dans le canal de Henchir Tobias (oued Hmadha).



ill. n°4 : Schéma du delta actuel (CHELBI F., PASKOFF R., TROUSSET P., 1995 d'après JAUZEIN A. 1971 modifié : document repris au niveau du dessin).

1.3- Le changement du lit de Mejerda :

Les changements du lit de Mejerda ont été un sujet de débats entre les différents chercheurs en particulier sur les raisons de l'abandon de la ville d'Utique. En effet, la puissance de l'alluvionnement telle que la ville d'Utique a été privée de son activité portuaire ce qui a entraîné son déclin. Des observations géomorphologiques relayent l'hypothèse d'un colmatage avancé de la moitié Sud de l'ancienne baie d'Utique dès

l'époque punique et d'un passage de Mejerda à l'ouest de Kalaât Landalous bien avant la fin de la période romaine. Ces observations sont les suivantes :

- La trace des anciens lits successifs d'oued Mejerda, des bras morts et bras recoupés (ill. n°4 et photo n°1).
- Plusieurs lits de Mejerda ont pu fonctionner en même temps.



Photo n°1 : Méandre abandonné dans la basse vallée de Mejerda (à l'Est de la ville de Kalaât Landalous). Ce méandre abandonné correspond à un ancien lit d'oued Mejerda. On en localise plusieurs dans la plaine deltaïque qui témoignent des défluviations successives de l'oued.

- La présence des lunettes (collines d'argile) à l'Ouest du Pont-de-Bizerte (Protville) qui prouve que la Garaâ d'El Mabtouha a fonctionné comme une sebkha isolée de la mer ; inondée et asséchée suivant les périodes de l'année, exposée au vent qui transportait les particules d'argiles asséchées. La présence d'installations puniques, témoigne que les lunettes ont existé avant l'époque romaine.
- L'alluvionnement de l'espace compris entre la presqu'île d'Utique et le promontoire de Kalaât Landalous a été réalisé très tôt puisque le site d'Utique témoigne d'une occupation préromaine sur ce niveau alluvial.

2- Passé lointain et passé proche : un aménagement hydraulique discontinu et une occupation du sol assez ponctuelle.

Le delta de Mejerda représente une zone où la vie villageoise et urbaine a beaucoup évolué. Une remarquable diversité est le résultat de l'histoire particulière de chaque groupe enrichi différemment au cours des siècles par les contacts successifs avec des civilisations ayant des dominantes culturelles urbaines, agricoles ou pastorales. Les groupes avaient, parfois, des visées plus ou moins hégémoniques pour répandre leur religion. Une place particulière doit être faite aux collectivités Juives présentes auprès des Berbères bien avant la venue des Musulmans. Sans oublier le contact avec des groupes d'origines variées venus, soit pour servir comme esclaves, achetés aux caravaniers qui les ramenaient d'Afrique Noire ou bien prisonniers de guerre, soit pour occuper diverses fonctions. Le delta de Mejerda a été un lieu de refuge tant pour les Musulmans Andalous venus par vagues successives que pour les Juifs lors des persécutions chrétiennes (CHERIF A., 1993).

Jusqu'au début du 20^{ème} siècle, l'occupation du sol dans le delta de Mejerda était dominée par un caractère discontinu et ponctuel. En effet, les aménagements hydrauliques réalisés jusqu'à cette date, n'avaient guère pris une dimension spatiale importante. Ils avaient plutôt un caractère local et destinés à la lutte contre les inondations et les marécages. A partir des années 1950, les changements dans le recouvrement et l'utilisation du sol étaient une conséquence directe d'un aménagement organisé et structuré dans un système qui a pris une dimension spatiale beaucoup plus vaste dépendant directement du transfert de l'eau (CHERIF A., 1998). Cet aménagement renvoie cependant à un questionnement sur les acteurs et sur l'intervention tardive à l'image des plaines méditerranéennes, telles que les heurtas du Levant espagnole et l'image des systèmes oasiens, du réseau des séguias du Haouz de Marrakech (CHERIF A., 1998).

Malgré la présence de l'eau et des terres, l'époque coloniale a développé une agriculture extravertie (blés, vignes, oliviers, orangers) au dépens de la production pour la consommation interne, au dépens de spéculations traditionnelles, surtout l'élevage.

Au début du 20^{ème} siècle, les colons ont entrepris un système de drainage pour la mise en valeur des secteurs marécageux notamment la plaine d'Utique (6000 ha). Les syndicats de garaât El Mabtouha ont joué un rôle primordial pour la mise en valeur d'environ 9000 ha. Jusqu'à la moitié du 20^{ème} siècle, la garaât était sous la direction d'un colon nommé « CODAIS » (enquête personnelle, 2007).

L'occupation du sol actuelle s'ensuit d'une dynamique spatiale résultant d'une série de transformation historique et socio-économique. De multiples reconversions des activités rurales se sont produites à travers les différentes époques. Dans le cadre de cette thèse, l'étude de l'histoire de l'occupation du sol du delta de Mejerda n'est pas un but en soi. Elle est indispensable pour l'explication des changements et de la dynamique des paysages. Dans ce contexte, DEPOIS J. (1955), considère que « l'étude du passé n'est pas seulement intéressant parce qu'elle fait connaître quels ont été au cours des siècles les changements de l'évolution des genres de vie, des peuplements et des paysages ». Elle est pour lui « indispensable aussi pour comprendre les genres de vie, de peuplement et des paysages d'aujourd'hui ».

2.1- Des premiers civilisateurs du pays jusqu'à la colonisation byzantine :

On connaît peu de choses de la préhistoire du Nord de la Tunisie en général. Le paléolithique ancien et moyen y manque. Mais il y'avait dans les environs de Bizerte de nombreuses traces d'occupations plus récentes, caractérisées par une industrie de lamelles, connues jusqu'aux années "1950" sous le nom barbare d'ibéro-maurusien (GINESTOUS P., 1955). L'histoire commence avec les premiers caboteurs venus de l'Est. Au milieu de leur parcours et à la jonction des bassins méditerranéens, les Phéniciens avaient créé Utique en 1101 avant J.C. C'était alors une rade admirable, avec son éperon bien abrité au Nord par le cap actuellement dénommé « Sidi Ali El Mekki ». Les phéniciens ont beaucoup développé l'arboriculture en l'occurrence l'oléiculture en Tunisie notamment dans les plaines du Cap Bon et dans les environs de Tunis (FEHRI N., 2007).

Durant l'époque romaine, les terroirs de Tuburbo Minus Tebourba, Utique et Rusconium (Ghar El Melh) avaient connu un développement de l'agriculture sans égal. En effet, les immigrants ont réparti les terres arables et les secteurs marécageux en petites et moyennes propriétés. Les environs d'Utique ont pratiqué la culture des céréales et l'élevage alors que ceux de Porto-Farina ont été dominés plutôt par la culture de l'olivier, les vergers et les vignobles (GINESTOUS P., 1955). Ces localités ainsi que plusieurs autres s'égrenant le long de « Bagrađa » ont eu aussi leurs ceintures irriguées.

Les citernes, les tronçons d'aqueducs, les ouvrages de captages, ainsi que plusieurs autres ouvrages disparus, détruits ou enfuis témoignent de l'importance de l'eau dans la basse vallée antique. « La constitution de " l'Empereur Constantin", affichée à Carthage le 9 mars 319, comprend une disposition relative à l'usurpation de l'eau (agricole), (CHERIF A.,

1998). Cette législation traduit d'une manière générale la volonté des empereurs surtout pendant l'Ier et le II^{ème} siècle d'assurer la mise en valeur des « saltus » et de développer une classe de « colons » bénéficiant d'un droit d'usage susceptible de devenir héréditaire (usus proprius). Elle ne contient aucune affirmation que le delta ou la basse vallée ait devenue une grande zone d'irrigation ou avait connu d'importants aménagements hydrauliques. « Les terroirs irrigués n'étaient que des tâches minuscules au milieu de larges plaines occupées par "les Findus" », vastes domaines impériaux ou civils réservées aux cultures sèches, ou par les marécages et la végétation hygrophile », (CHERIF A., 1998).

Contrairement au monde romain qui a connu de graves difficultés économiques au début du III^{ème} siècle, l'Africa exporte déjà de grandes quantités d'huile. Cette tendance c'est encore affirmée au cours du IV^{ème} siècle. En effet, ALBERTINI E. (1933), (in CHERIF A., 1998), a signalé qu'à cette époque l'Africa productrice de blé, d'orge, d'huile et de bétail peut tirer d'elle-même tout ce qui est nécessaire à sa propre consommation et exporter le surplus. D'après LEPELLEY, cette stabilité de l'agriculture africaine s'est maintenue encore au cours du V^{ème} siècle (in FEHRI N., 2007).

Durant la colonisation romaine, la présence des Vandales ou encore la colonisation byzantine, on ne peut en aucun cas affirmer l'émergence dans la basse vallée de Mejerda d'un aménagement hydraulique caractérisé par une dimension spatiale importante comme c'est le cas de certaines plaines dans les environs de Carthage...seules des recherches en matière d'aménagements hydrauliques dans l'antiquité peuvent confirmer l'hypothèse en question (CHERIF A., 1998).

2.2- De l'arrivée Arabes jusqu'à la période précoloniale :

Au VII^{ème} siècle, l'Ifriqiya orientale (la Tunisie actuelle) fut conquise par les arabes. TALBI M. (1982) signale qu'à cette époque, la Tunisie n'était certes pas encore totalement dépouillée de son manteau de verdure, mais ses villes et ses villages ont été déjà en ruine.

Jusqu'au IX^{ème} siècle « période de grande prospérité agricole », la basse vallée de Mejerda ne se distinguait guère des autres régions telliennes par un tel système de culture. Cependant, CHERIF A. (1998) indique que « cette région n'avait pas retenu l'attention des chroniqueurs et des voyageurs, ce qui signifie que ses paysages se sont confondus avec ceux des autres plaines et bassins intra-telliens ».

A partir de IX^{ème} siècle, et jusqu'au milieu du XI^{ème} siècle, le pays semble avoir connu une longue période de prospérité (DESPOIS J., 1961). IBN KHALDOUNE A. a indiqué

dans ses « *prolégomènes* » que l'Ifriqiya a constitué un pays vaste riche et florissant sous le règne d'El-Mu'izz ⁽²⁾. L'essor des activités artisanales et commerciales est à la fois facteur et conséquence du développement agricole pendant cette époque. Face à une croissance galopante de la population, les ressources d'eau, d'herbe et de bois sont devenues de plus en plus rares. « Plusieurs sources et données archéologiques ont montré que les Zirides (contrairement aux Aghlabides) ne sont pas de grands constructeurs d'ouvrages hydrauliques » (FEHRI N., 2007).

De la fin du XI^{ème} siècle et jusqu'au XV^{ème} siècle, l'Ifriqiya tellienne a connu beaucoup de crises ; « pénurie de main-d'œuvre servile », invasion hilalienne et recul de la vie sédentaire. La vie urbaine s'était donc retirée devant le nomadisme (CHERIF A., 1998). C'est avec l'immigration morisque au début du XVII^{ème} siècle que la basse vallée de Mejerda s'est distinguée des autres régions telliennes par son occupation humaine et agricole du sol. Bien que les immigrés andalous aient créé de nouvelles agglomérations sur les sites antiques en ruine (DESPOIS, 1961) et avaient émergé pour la première fois une forme d'organisation régionale. Cette dernière a été basée sur des éléments structurants tels que ; l'essor d'un réseau de petites villes et villages complémentaires, une paysannerie sédentaire et dynamique et une agriculture irriguée intensive (petite hydraulique), (CHERIF A., 1998).

Les Andalous ont assimilé d'autres groupes ethniques ; Turcs puis Maltais au XIX^{ème} siècle à Ghar El Melh, Zouaouas, Ouslatias et Sahéliens à Tebourba (CHERIF A., 1993). Le savoir faire en jardinage s'est d'avantage enrichi et « l'irrigation a pris une ampleur sans précédent ». Elle bénéficiait aussi bien de l'expérience technique et agronomique des Andalous, anciens aménageurs des zones du « Régadio », espagnoles (CHERIF A., 1998).

Les descriptions paysagères recueillies des textes écrits par les voyageurs notamment au XIX^{ème} siècle, ont un grand apport pour reconstituer l'état d'occupation du sol. En effet, les villages andalous ont été entourés ou bordés par « des jardins irrigués avec l'eau puisée dans les nappes du sous-sol et clos de talus de terre hérissées de figuiers de barbarie » (GUERIN V., 1862). Les Andalous ont cultivé ces jardins avec soin même si dans certains secteurs les arbres étaient trop serrés disait DEPOIS J. (1961).

Les petites exploitations (petite hydraulique) cultivées intensivement ont marqué le paysage du delta de Mejerda même si elles ont eu un caractère discontinu voire ponctuel.

² Al Mu'izz est le dernier prince Ziride dans l'Ifriqiya. Les Zirides (973) ont succédés aux Abbassides (903-973).

Toutefois, les zones marécageuses ont couvert encore de vastes étendues. Globalement, jusqu'à la période pré-coloniale, le delta de la Mejerda, a présenté deux types de paysages :

- La partie orientale, littorale et sub-littorale, qui a constitué une zone inhabitable et inculte. Elle était « hantée par la fièvre, elle a cessé d'appartenir à la mer et n'est pas encore le domaine de l'homme » (TISSOT Ch., 1881 in CHERIF A., 1995). Les ouvrages bibliographiques consultés (PELLISSIER E., 1853 ; GUERIN V., 1862, BONNIARD F., 1934) n'ont indiqué aucun signe de travaux d'aménagements dans ces marécages. Au contraire GUERIN V. (1862) a signalé la difficulté de traverser ces marécages « nous traversons...une grande plaine marécageuse, nos chevaux ont beaucoup de peine à marcher ; ils sont en outre tourmentés par une multitude incroyable de mouches et de moustiques ». Vers l'Est de Bou Chater une colline surmonte les marécages sur laquelle les Andalous ont construit le village de Kalaât-El-Oued (Kalaât Landalous). Elle a compté à l'époque près de soixante maisons disait PELLISSIER E. (1853).

- La partie septentrionale et occidentale a constitué des zones d'intense occupation agricole et humaine. PELLISSIER E. (1853) a décrit cette zone qui s'étendait de Ras Sidi Ali El Mekki jusqu'à Tongar. Il a parlé du petit territoire de Ghar El Melh, qui était pour lui pittoresque et bien planté « une végétation fraîche et riche s'étend de la montagne aux rives même du lac ». Le territoire de Aousja est occupé par des riches vergers d'oliviers. Entre Aousja et Bou-Chater, un grand nombre de douars arabes, « mi-partis de tentes et de cabanes » a occupé les piedmonts et les collines. Il n'a pas eu un caractère absolu de permanence (villages) mais, il a différé de la mobilité des tribus nomades.

Entre Bou-chater et Tebourba et à l'exception de la plaine marécageuse d'El Mabtouha s'étendent de belles terres arables sur près de 23 kilomètres (même sur les versants des montagnes). Ces terrains ont été divisés en henchirs et exploités par des Trabelsia « ou Tripolitaine d'origine, établis depuis longtemps dans la régence, et appartenant aux trois tribus des Troud, Silin et Tahouan », (PELLISSIER E., 1853). Malgré leur long séjour dans la régence, ces derniers ont conservé leur nationalité par un kaid particulier et croisé d'autres tribus exclusivement pastorales notamment les « Ferdjen ».

Les principaux henchirs ont été à l'époque ceux de Methoua et de Sidi Othman dans la partie occidentale de la plaine et celui de Bordj Hadida, sur les versants des collines. Ces henchirs ont appartenu pour la plupart à des familles tunisoises ou aux établissements

religieux de cette ville. Ils sont habités et cultivés par des colons, des khammassas, (partiaires au cinquième), qui sont généralement des Trabelsia.

A partir du territoire de Tebourba et jusqu'à celui de Jedeïda, la Mejerda a formé un grand nombre de méandre et a découpé des vastes vergers d'oliviers qui sont irrigués grâce au pont-barrage d'El Battan édifié depuis le XVII^{ème} siècle (photo n°2).

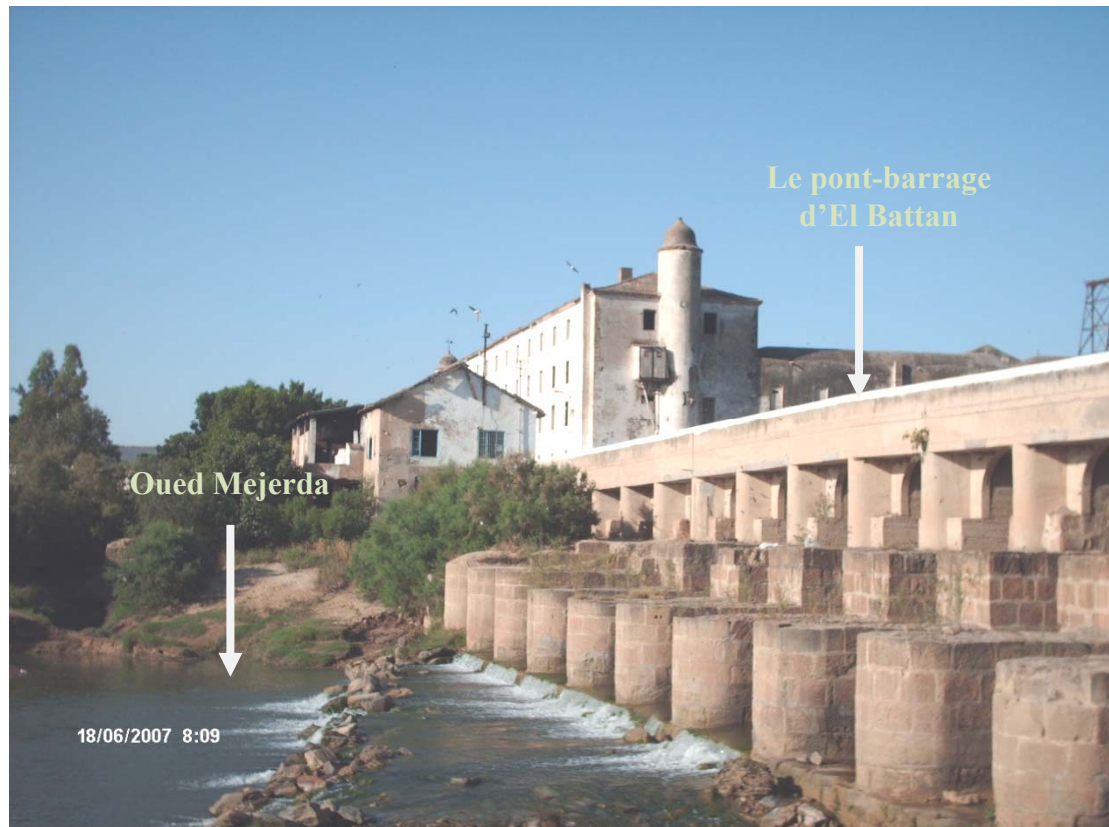


Photo n°2 : Le pont-barrage d'El Battan construit au début du XVII^{ème} siècle n'assure aujourd'hui que sa première fonction.

Le territoire de Jedeïda, ne se distingue guère de celui de Tebourba « il est riche et bien planté » (PELLISSIER E., 1853). Certains fonctionnaires dans la régence de Tunis y possèdent de jolies maisons, comme le cas de Ben Aïad, le financier de Bey.

PELLISSIER E. (1853) a indiqué qu'entre le territoire de Tebourba et celui de Tongar sur à peu près 8 kilomètres, le paysage est marqué par de riches vergers d'oliviers et d'assez frais jardin. L'exploitation familiale est basée essentiellement sur une économie de subsistance. Les excédents sont expédiés à Tunis, notamment les légumes, les fruits de qualité, les melons, les pastèques... (BONNIARD F., 1934).

Malgré l'apport des Andalous en terme de techniques d'irrigations et d'exploitations agricoles, les territoires cultivés en irrigué ont été très microscopiques et discontinus. Les

aménagements hydrauliques destinés à l'irrigation sont encore rares, et les cultures en secs ont occupé des vastes domaines. L'idée de l'importance de l'irrigation dans le bassin de la Mejerda a marqué très tôt la pensée des voyageurs. En revanche, et « dans l'intérêt de la prospérité agricole du pays, il serait fort important de multiplier les barrages sur la Mejerda, de manière à ce que tout le bassin soit arrosé » (PELLISSIER E., 1853).

2.3- La période coloniale : une modernisation qui a beaucoup changé le paysage.

Durant la période coloniale le défrichement et la mise en valeur du sol se sont étendus et modernisés. Plusieurs témoignages affirment que cette période avait connu une véritable mutation agricole. En particulier, dans les fermes et dans les domaines qui appartiennent à l'époque aux colons. Ces ex-propriétés des colons sont signalés sur les cartes topographiques au 1/50000 de la zone d'étude par la désignation « Ferme ; F^{me} ».

DESPOIS J. (1961) a signalé que pendant la période coloniale, les plus variés et les plus denses terrains agricoles, ont existé dans la basse vallée de la Mejerda et dans le secteur de Mateur. En outre, CHERIF A., (1998), montre également à travers des lectures bibliographiques, que jusqu'au XIX^{ème} siècle, les secteurs sud-orientaux de la Mejerda, jusqu'à Jedeïda et Sidi Thabet, sont marqués par des paysages très variés et très diversifiés. Ils sont marqués également par l'émergence de l'arboriculture et de culture maraîchères, alors que l'« openfield céréalière », a dominé les secteurs de Mjez El Bab jusqu'à la plaine d'Utique.

Le projet « primeurs pour l'exportation » a représenté la volonté des colons de créer un pôle maraîcher dans la basse vallée de la Mejerda. L'idée est inventée du « modèle algérien » qui est axé à la fois sur le marché urbain et sur l'exportation. Ce projet a échoué face à l'étroitesse du marché intérieur et face à la domination des pays de l'Afrique du Nord sur le marché métropolitain (CHERIF A., 1998). En revanche, ce projet a eu un rôle fondamental dans l'augmentation du rythme d'exportation de la Tunisie dans la première moitié du XX^{ème} siècle.

La modernisation de la petite hydraulique et la progression de l'irrigation dans la basse vallée de la Mejerda, ont été les résultats de plusieurs innovations et aménagements. Cependant, depuis 1902, plusieurs motopompes sont utilisées sur les bords de la Mejerda, et essentiellement à Jedeïda, où une dizaine de cette machine ont irrigué les terres alluvionnaires du centre maraîcher créée par la Direction du Domaine (AMIABLE J., 1930 in CHERIF A., 1998).

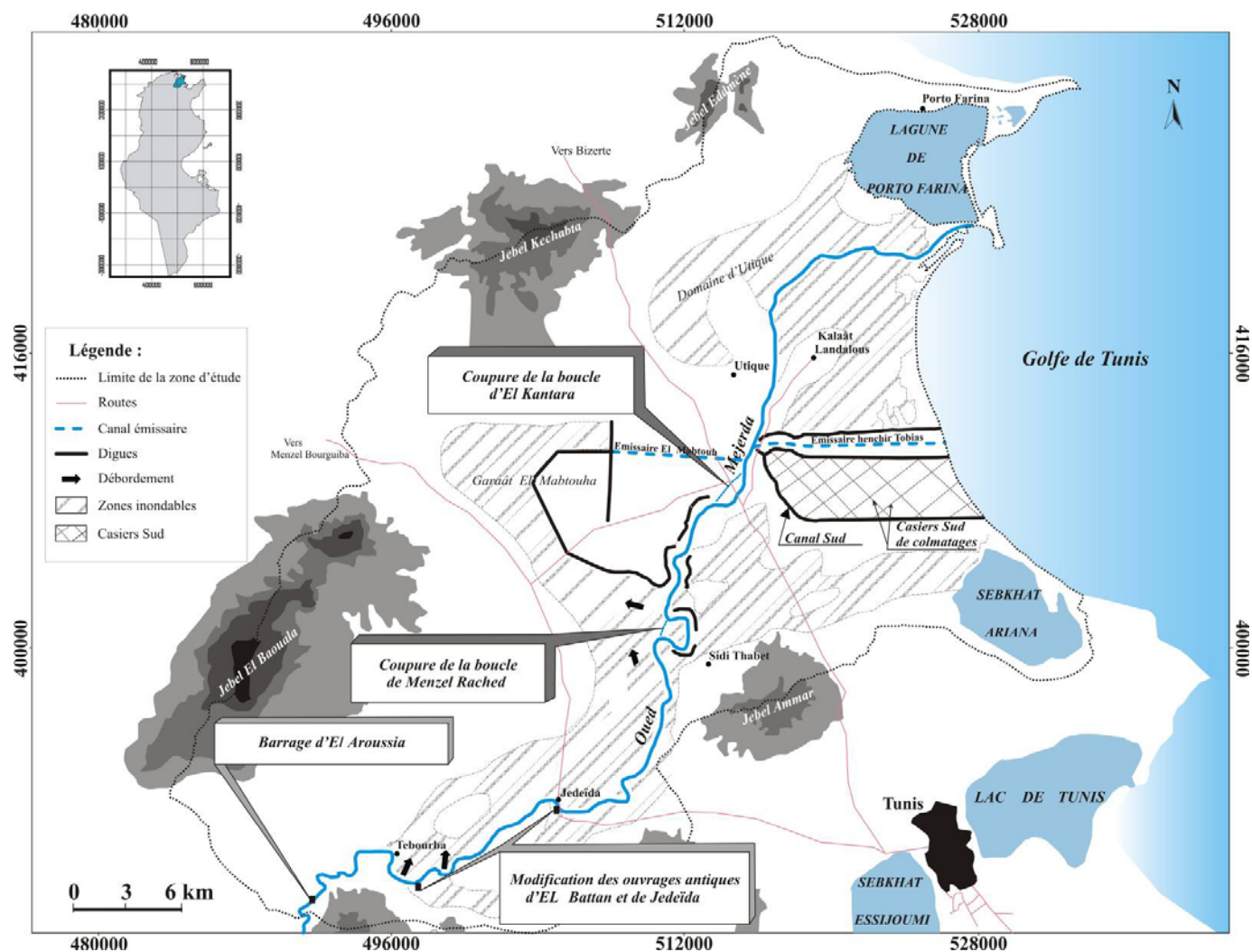
Dès le début du XX^{ème} siècle, plusieurs aménagements sont entrepris pour la viabilisation des terrains marécageux et pour atténuer les effets des crues. En effet, la majorité des grands domaines hydromorphes comme ceux ; de garaât El Mabtouha (9000 ha), d'Utique (6000 ha), de Sidi Thabet (5300 ha)... et qui ont été des biens fonciers appartenant à des propriétaires locaux, sont acquises par les familles et les sociétés européennes qui n'ont guère tardé à les valoriser grâce à un système de drainage assez dense, visible aujourd'hui sur les cartes topographiques au 1/50000 de la zone d'étude.

D'autres secteurs ont été drainés vers la fin du protectorat français entre 1950 et 1953, afin de lutter contre les inondations. Dès 1932, un canal émissaire (henchir Tobias), est creusé en même temps que des casiers de colmatage (ill. n°5) pour conduire les excès des grandes crues directement à la mer. En plus, deux principaux méandres sont coupés (la boucle d'El Kantara et la boucle de Menzel Rached (ill. n°5). Certaines modifications sont apportées aux vieux barrages de Tebourba et de Jedeïda pour limiter les crues supérieures à 1200 m³/s (DESPOIS J., 1961). Des travaux de reboisements et d'aménagements de pentes au moyen des banquettes de type américain sont également réalisés.

La construction de barrage sous le protectorat français n'était pas d'une grande ampleur « c'est une option tardive », même si à l'époque la nécessité était claire pour l'essor d'une grande hydraulique (STRUGO N., 1955). Jusqu'à l'indépendance seulement trois barrages ont été construits ; celui de Neber, construit sur l'oued Mellègue, celui de Taullierville (Laroussia) et celui de Beni Mtir.

L'essor de la grande hydraulique, les mutations profondes dans les paysages deltaïques de la Mejerda se confond surtout avec les aménagements entrepris par la Tunisie indépendante. En effet, ces constructions « avaient constitué une rupture, géographique, technique et économique » (CHERIF A., 1998).

L'historique de l'occupation du sol dans le delta, nous apprend l'ancienneté de l'intervention de l'homme dans ces milieux. Afin de comprendre les relations « homme/occupation du sol » et d'approfondir une méthodologie du travail, il est judicieux de présenter les grands traits du milieu naturel et quelques aspects du milieu anthropique du delta qui ont représenté le support de l'occupation-utilisation du sol.



ill. n°5 : Les principaux aménagements hydrauliques réalisés dans la plaine deltaïque de l'oued Mejerda jusqu'à l'indépendance (OMVVM, 1960 : document repris et modifié au niveau du dessin).

Chapitre 2 :

**LE SUPPORT DE L'OCCUPATION-UTILISATION
DU SOL : UN POTENTIEL ECOLOGIQUE RICHE, QUI
FAVORISE UNE MEILLEURE UTILISATION DES TERRES**

L'étude des différents éléments du milieu biophysique et humain constitue un préalable pour valoriser la compréhension de la dynamique de l'occupation et l'utilisation du sol dans le delta de Mejerda. Dans ce chapitre, il est question de démontrer le potentiel écologique qui représente un facteur essentiel expliquant le recouvrement et l'exploitation des sols ainsi que le rôle et l'intervention de l'homme dans la mise en valeur et la protection des terrains par les différents aménagements essentiellement hydrauliques.

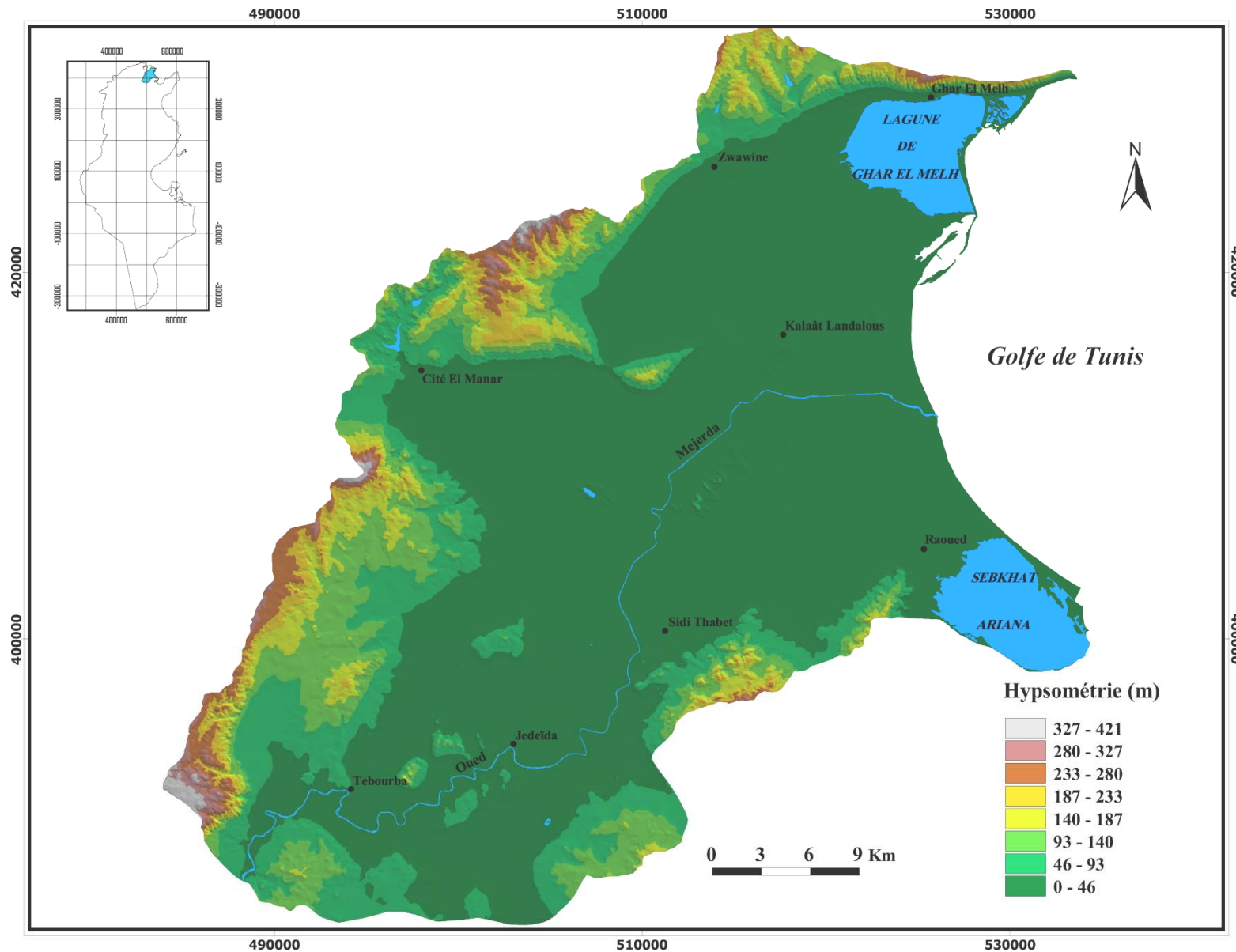
1- La topographie : Deux formes de reliefs bien distinctes.

Globalement, le delta de Mejerda présente deux formes topographiques bien distinctes : une plaine d'altitude moyenne autour de 50 mètres entourée de Jebels d'altitude modeste d'environ 300 mètres (ill. n°6). La pente moyenne du bassin versant du delta est faible (ill. n°7), de l'ordre de 7.2 % et ne commence à s'accroître que dans la partie amont du delta (les alentours de barrage Laroussia). La pente devient forte aussi au niveau des Jebels limitant le presque bassin versant du delta de Mejerda. L'altitude moyenne est de 132 m et environ 75 % de la superficie totale du bassin versant du delta à une altitude inférieure à 50 m (ill. n°6).

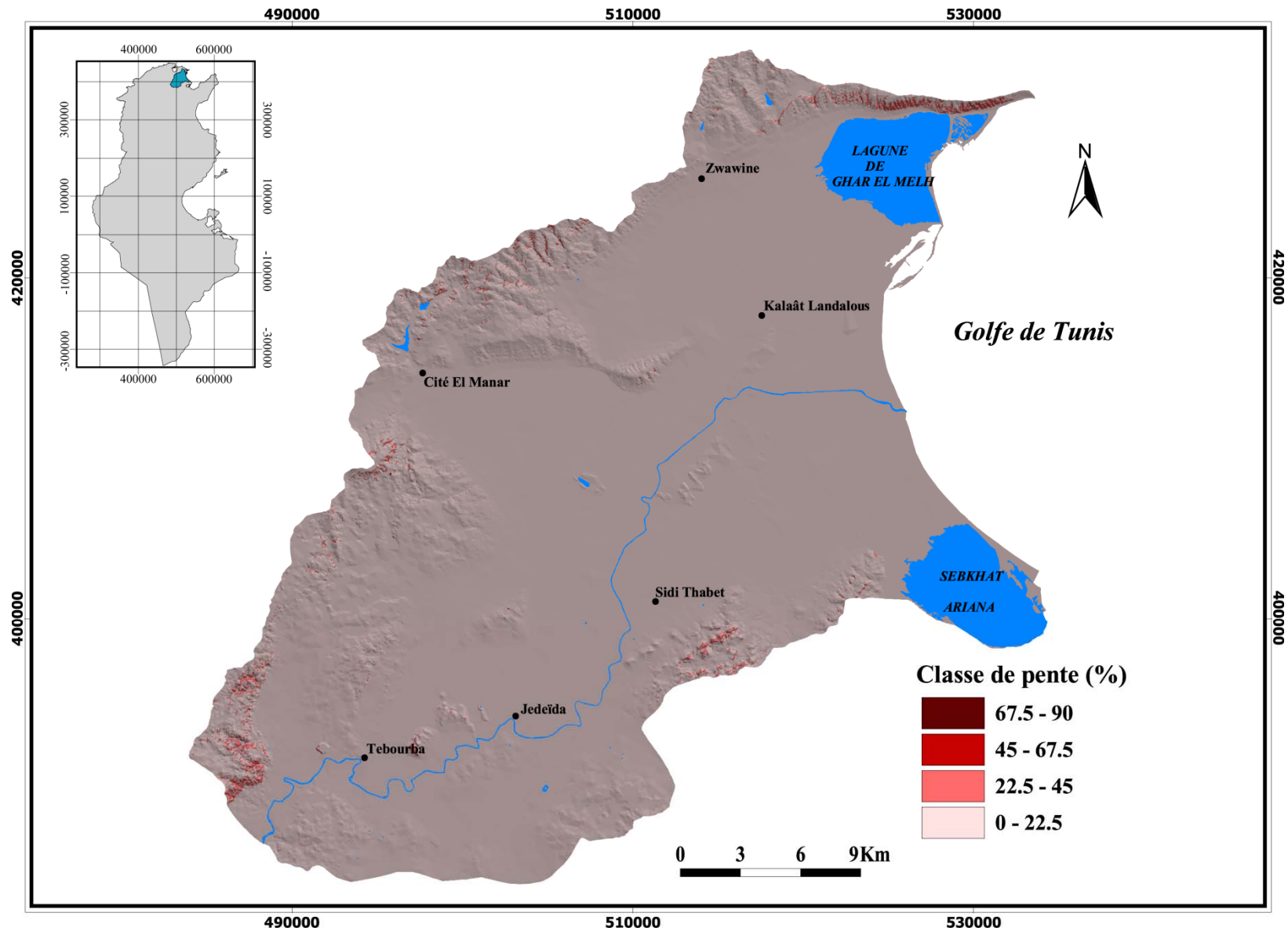
Le delta de Mejerda est située à la limite Est de la zone d'orogénèse plio-villafranchienne atlasique, où une sédimentation marine a été très active dans un sillon « tunisien » constitué au Crétacé, avec le dépôt de sédiment fin jusqu'au Miocène. Lors des premières manifestations orogéniques de l'Atlas, les couches sédimentaires ont été remaniées, et comme partout ailleurs dans l'Atlas, les structures tertiaires se sont décollées de leur substrat secondaire, qui a pu affleurer par endroits (MEHAT & SCET, 1996). Selon CASTANY G. (1965), les zones basses font partie du synclinorium « Le Kef-Tunis-Sicile », long couloir limité au Nord par les retombées des chaînes telliennes de Kroumerie, des Mogods et du Hédhil, et au Sud par les chaînes jurassiques de Kessera, de Zaghouan, du Ressay et du Boukornine. Cette disposition structurale est compliquée par la présence à l'intérieur de ce vaste couloir de reste et débris des chaînes atlasiques et telliennes, comme les Jebels Ichkeul, Kebir et R'Mel autour des lacs de Bizerte et Jebel Ennadhour surplombant le lac de Ghar El Melh (MEHAT & SCET, 1996).

1.1- La morphologie du delta :

Le delta de Mejerda est une zone très basse au Nord, lacustre et marécageuse au centre, assez accidentée autour de l'agglomération de Tunis, formée de collines escarpées, de grandes dépressions lacustres et de plaines alluviales.



ill. n°6 : L'hypsométrie du delta de Mejerda (source : cartes topographiques de la zone d'étude au 1/25000).



ill. n°7 : Cartes des pentes dans le delta de Mejerda (source : cartes topographiques de la zone d'étude au 1/25000).

La basse Vallée de Mejerda (qui s'étend jusqu'aux plaines de Mjez El Bab), constitue une zone de subsidence très basse où, malgré l'importance de l'alluvionnement, les dépressions lacustres d'eau douce ou « Garaâ », les sebkhas d'eau salée et les marécages occupent encore d'importantes superficies (JAUZEIN A., 1967). La réduction des inondations de Mejerda due aux grands travaux hydrauliques réalisés sur son bassin versant, et les importants travaux de drainage réalisés pour valoriser la basse plaine ont conduit à leur assèchement. Le delta de Mejerda, séparé de la ville de Tunis par quelques Jebels ou collines escarpés, occupe l'emplacement d'un ancien golfe marin. Il n'est accidenté qu'en quelques collines d'altitudes très basses, comme celle de Kalaât Landalous. Les collines de la région de Tunis sont constituées par des roches plus résistantes (JAUZEIN A., 1967).

1.2- La géologie du delta :

Le delta de Mejerda fait partie de la Tunisie Septentrionale. L'âge de ces formations géologiques remonte jusqu'au Trias. Il est limité au Nord, par les anticlinaux des bassins mio-pliocènes des Jebels Ennadhour, Raf-Raf, Sidi Mansour et Messeftine, Kechabta... Au Sud Est le delta est limité par les dômes de Jebel Ammar et de Jebel Ennahli (ill. n°9). Jebel El Gasaâ limite le delta dans sa partie sud Ouest. Vers l'Ouest, le delta s'appuie sur les anticlinaux mio-pliocènes de Jebel Es-Sakkak, Jebel Baouala et d'autres collines.

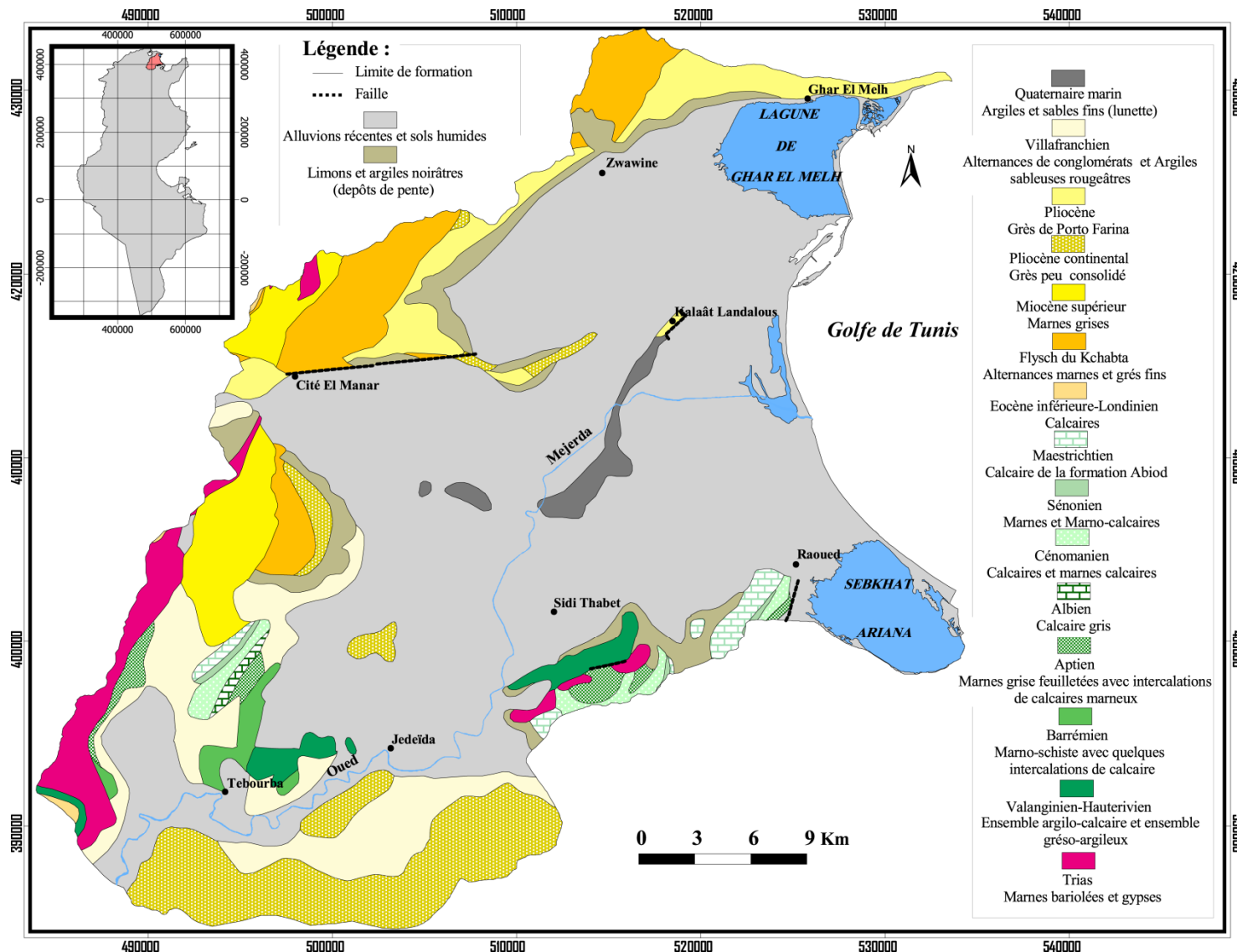
1.2.1- Les Jebels dominant le delta au Sud :

Ces Jebels forment la limite sud de la basse vallée de Mejerda. Le point culminant est à 328 m d'altitude (Ragoubet Esbia à Jebel Ammar). Ce sont des dômes à structure anticlinale plus ou moins complète, faisant apparaître des terrains crétacés, éventrés au Jebel Ammar par une faille NE-SW injectée de matériaux argilo-gypseux triasiques et accompagnée par une lame de calcaire jurassique (ill. n°8).

Une tectonique intense se traduit par des cassures importantes parfois encore actives, affectent ces structures et amènent un basculement de la direction du Jebel Ennahli vers le Nord (PIMIANTA J., 1955).

1.2.2. La plaine deltaïque de Mejerda :

C'est une vaste plaine d'origine deltaïque, basse et inondable à morphologie encore en évolution, en partie gagnée sur la mer et due au comblement par les sédiments déposés au gré des eaux de crue de Mejerda. Structuralement, cette vaste plaine se trouve donc



ill. n°8 : Esquisse géologique du delta de Mejerda (la carte géologique, feuille n°II de Bizerte au 1/200000, réalisée par TERMIER P., MOURGNOT P. et BERTHON L. en 1922).

en position synclinale limitée au Nord et au sud par des anticlinaux (BEN AYED N., 1993).

L'examen des anciennes cartes topographiques (au 1/50000) fait apparaître une grande extension des zones marécageuses, dont la majorité assainie par un important réseau de canaux de drainage. D'ailleurs, il est à remarquer que les pentes de la plaine ne sont pas toujours dirigées vers la mer, mais parfois plutôt vers l'Ouest, comme par exemple à l'extrémité occidentale du domaine d'Utique et de Garaât El Mabtouha. Le fond de Saint-Victor (Garaât El Mabtouha) s'élève de l'Ouest (6,5m) vers l'Est (10 à 11m) ce qui fait qu'elle est inclinée vers l'Ouest et non pas vers la mer (PIMIANTA J., 1955).

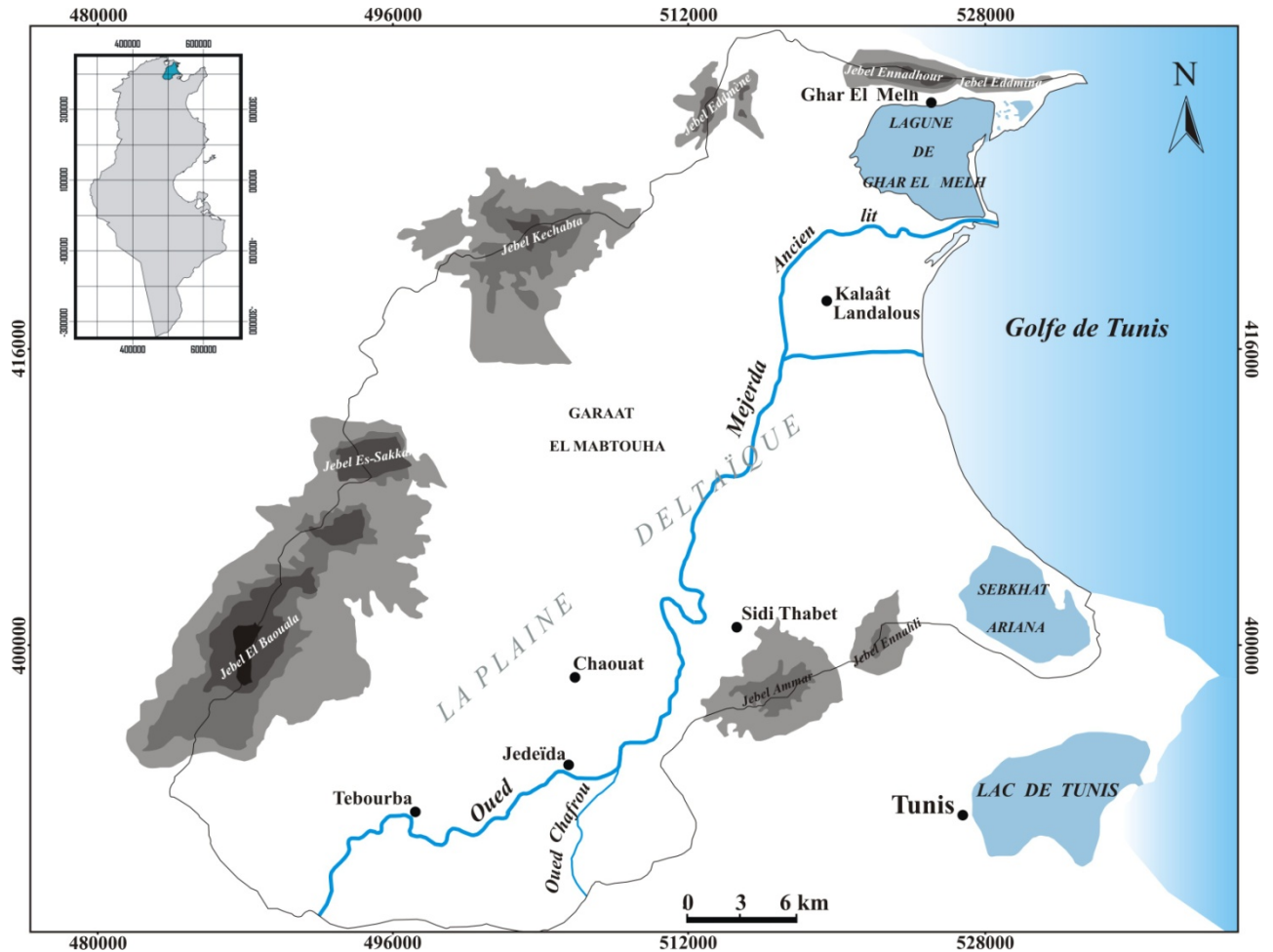
Selon les résultats de quelques anciens sondages réalisés dans cette plaine ; le remplissage est essentiellement formé d'une argile assez plastique, avec des niveaux lenticulaires sableux à sablo-argileux, de rares passages à galets et horizons vaseux par endroits. La proportion des éléments graveleux ou sableux augmente à l'approche de la retombée des collines de bordure. Au droit des anciens lits et des zones marécageuses récemment assainies, le remplissage doit être moins régulier et les couches moins denses (EL GAROUANI et al., 1999). L'épaisseur de ce remplissage dépasse les 50m et même la centaine de mètres ce qui suppose une subsidence active de toute la plaine, plus ou moins accentuée suivant la configuration de la surface structurale du fond du bassin (EL GAROUANI et al., 1999).

La plaine du delta est une zone essentiellement agricole. Elle constitue une part importante de l'essentiel potentiel agricole (EPA) de la Tunisie du Nord. Celle de Zwawine-Aousja-Ghar El Melh constitue la partie septentrionale de la plaine du delta. Elle s'étend sur près de 20 km (sa largeur varie de 1,5 à 3 km) (BEN SALEM M., 1996). Ses sols sont les plus fertiles dans la zone d'étude (MEHAT & SCET, 1996).

1.2.3- Les Jebels dominant le delta au Nord :

La limite Nord du delta de Mejerda est formée par les reliefs qui se prolongent de l'Est du secteur de Mateur au Cap de Ghar El Melh (Cap Farina) et qui sont constitués par les Jebels mio-pliocènes à allure anticlinale de direction NE-SW à E-W (BEN AYED N., 1993) des Jebels Kechabta (culminant à 412 m d'altitude), Ennadhour (culminant à 324 m) et Jebel Eddmina (culminant à 253 m d'altitude) (ill. n°9). De la

La retombée des flancs Sud de ces anticlinaux se fait régulièrement vers la plaine, avec seulement quelques accidents correspondant à de petites failles et à des cassures transversales de réajustement (PIMIANTA J., 1955).



ill. n°9 : Localisation géographique des Jebels limitant le delta de Mejerda.

Dans la partie centrale de cette plaine, deux séries de reliefs interrompent la platitude de la plaine et isolent le bassin du domaine d'Utique vers le Nord :

- Les collines de Douimis et de Menzel Ghoul, qui constituent un appendice des Jebels mio-pliocènes bordant la plaine au Nord (culminant respectivement à 177 m et à 170 m). La colline de Douimis prend naissance à l'emplacement de failles normales mio-pliocènes, réactivées en failles inverses lors du plissement post-villafaranchien » (BEN AYED N., 1993).
- Une série de reliefs connus sous la dénomination de « lunettes » et culminant à 59 m d'altitude, dessinent un bourrelet en arc s'appuyant sur le horst pliocène étroit de Kalaât Landalous. Ils ont pour origine la déflation éolienne à travers la plaine, et sont constitués par un matériau argileux non stratifié montrant un assemblage prismatique et de nombreux débris d'escargots (PASKOFF R., 1985).

1.2.4- Les Jebels dominant le delta à l'Ouest :

La limite Ouest du delta de Mejerda est formée par les reliefs qui se prolongent de Jebel El Melah culminant à 289 m d'altitude, jusqu'à Jebel Kechabta selon la direction NE-SO (ill. n°9).

Ces massifs sont constitués par Jebel El Héouia culminant à 293 m d'altitude, Jebel El Baouala, culminant à 282 m d'altitude et Jebel Es-Sakkak, culminant à 394 m d'altitude où débudent des affleurements de Trias qui se prolongent vers le SW sur environ 40 km. C'est à partir de Jebel Es-Sakkak que « l'affleurement du complexe marno-salin est très étroit et chevauche vers le SE les marnes du Miocène moyen » (JAUZEIN A., 1967).

Vers l'Ouest du delta de Mejerda, le Jebel Maïana (culminant à 187 m d'altitude), interrompt la platitude de la plaine deltaïque. Il constitue un dôme fortement érodé où n'affleurent que des formations du crétacé inférieur. C'est au sud de Jebel Maïana « qu'un affaissement se serait réalisée, qui correspondrait à la vallée de la Medjerda entre Tebourba et Mjez El Bab » (JAUZEIN A., 1967).

1.2.5- Les formations côtières basses : Les plages et les dunes

Sur le front oriental du delta de Mejerda, les plages sableuses s'étendent sur presque 15 km sans interruption. Elles sont constituées de matériaux plus ou moins grossiers, généralement riches en coquillages, que la mer accumule en bordure du continent, et qui dessine le long du rivage un niveau horizontal dont la limite correspond à la côte maximum des hautes marées. Dans le delta de Mejerda, le recul permanent de la côte vers la mer a entraîné le recouvrement des anciennes plages par les alluvions transportées par le fleuve dans le golfe d'Utique, seule subsiste la plage actuelle formée d'apports bruts.

Les dunes littorales sont des cordons parallèles au rivage qui sont constitués au cours des régressions marines sous l'action du vent. Elles préservent et stabilisent les plages contre l'action des houles. Certaines sont en état de dégradation sous l'effet des différentes interventions humaines (aménagement et constructions). L'évolution du front littoral du delta est étudiée en détail dans la deuxième partie de ce travail.

2- Un climat méditerranéen :

Il ne s'agit pas de faire une étude détaillée sur le climat du delta de Mejerda, mais seulement de présenter les principaux facteurs qui influencent l'occupation naturelle du sol,

ou qui pourraient avoir un impact direct sur les choix des décideurs en termes d'occupation et d'utilisation du sol dans la zone d'étude.

La variation topographique et la position des versants par rapport aux perturbations atmosphériques (ill. n°10), sont à l'origine de la variabilité des paramètres météorologiques comme la pluviométrie, la température...

Le climat régnant dans le delta de Mejerda est de type méditerranéen avec une saison chaude et une saison modérée et pluvieuse. La pluviométrie moyenne annuelle varie entre 400 et 600 mm et la température moyenne est de l'ordre de 18°C (INM, 2006). Les mois de juillet et août sont les mois les plus secs et les plus chauds, alors que les mois de décembre, janvier, février sont les mois les plus froids et les plus humides.

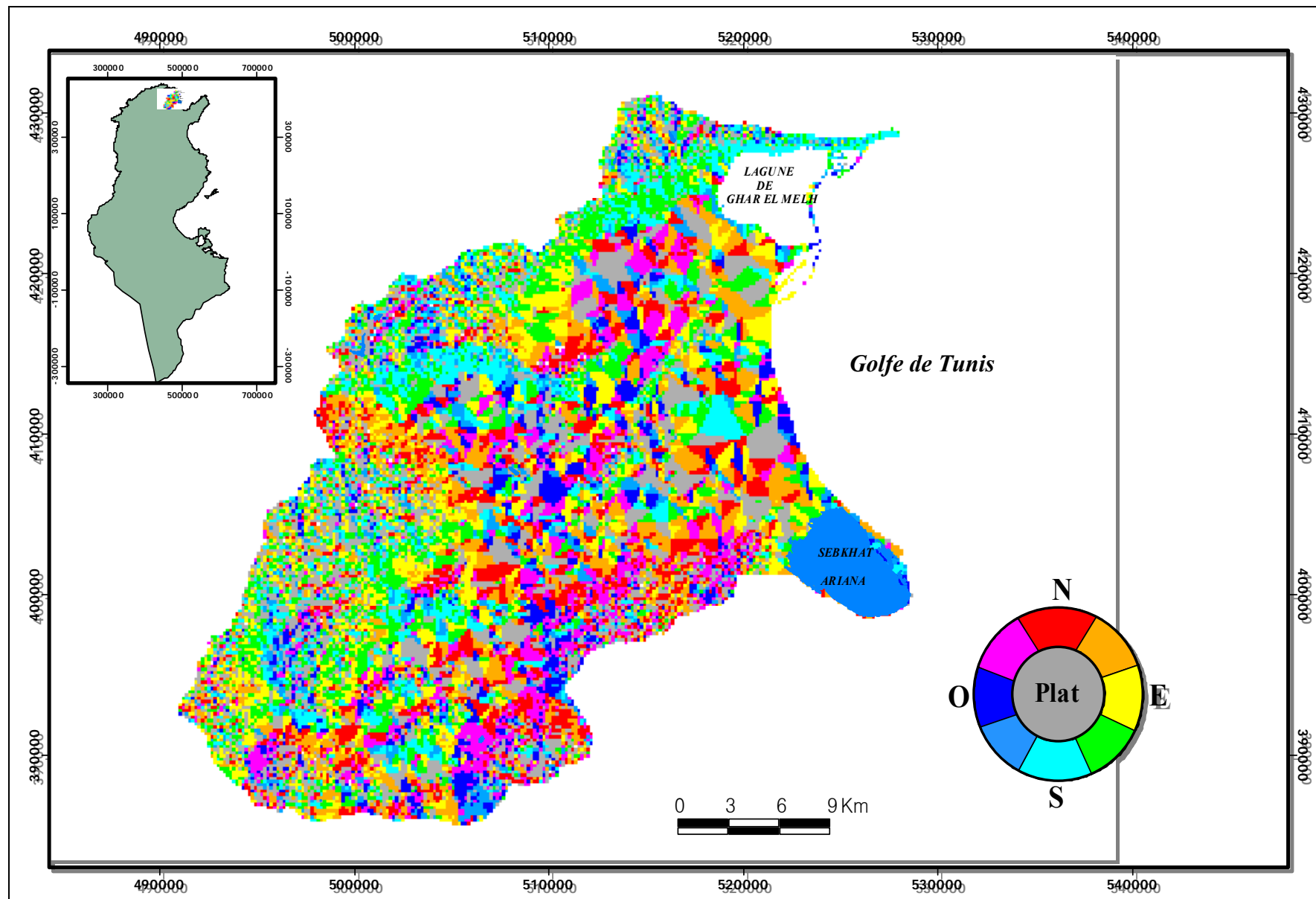
2.1- Des perturbations de deux origines :

Les précipitations en Tunisie sont dues à des perturbations d'origine tempérée et méditerranéenne suivant les périodes de l'année. En automne, un air continental frais « d'origine nordique lointaine, européenne ou polaire » (BEN BOUBAKER H., 2000), entre en contact avec l'air méditerranéen instable et déclenche des orages qui marquent souvent le début de la période pluvieuse. Durant l'hiver, un air froid humide et instable provenant de l'Atlantique pénètre de temps en temps en Méditerranée et détermine une période pluvieuse. Au printemps, les différences de températures et d'humidité entre les masses d'air polaires et subtropicales qui se rencontrent engendrent des épisodes pluvieux irréguliers.

2.2- Des précipitations irrégulières :

La répartition des pluies dans le temps et dans l'espace en Tunisie est très inégale. La moyenne annuelle des précipitations dans le delta de Mejerda est de l'ordre de 470mm. Il ne s'agit que d'une moyenne très générale qui cache d'importantes nuances et irrégularités. Les mois pluvieux sont respectivement, les mois de novembre, décembre, janvier et février. Les pluies sont très peu fréquentes en juin, juillet et août.

Le minimum et le maximum pluviométriques observés à Ghar El Melh sont de 97.7 mm en 1960-1961 et 935.9 mm en 2003-2004. La moyenne pluviométrique annuelle à Ghar el Melh entre 1954 et 2004 est de l'ordre de 568.6 mm (DGRE, 2006). A Kalaât Landalous et Sidi Thabet, les quantités pluviométriques moyennes recueillies sur 18 ans (de 1986 à 2004) étaient respectivement d'environ 494.6 mm et 455.2 mm (tableau n°1 & ill. n°12).



ill. n°10 : Carte d'exposition des versants dans le delta de Mejerda (carte réalisée à partir du MNT du delta).

Les quantités de pluie reçues dans le delta de Mejerda sont aussi inégalement réparties au cours de l'année. Les plus importantes ont lieu au cours de la saison froide qui s'étend de novembre à février. Le nombre de jours de pluie à Ghar El Melh est de 95j/an (DGRE, 2006).

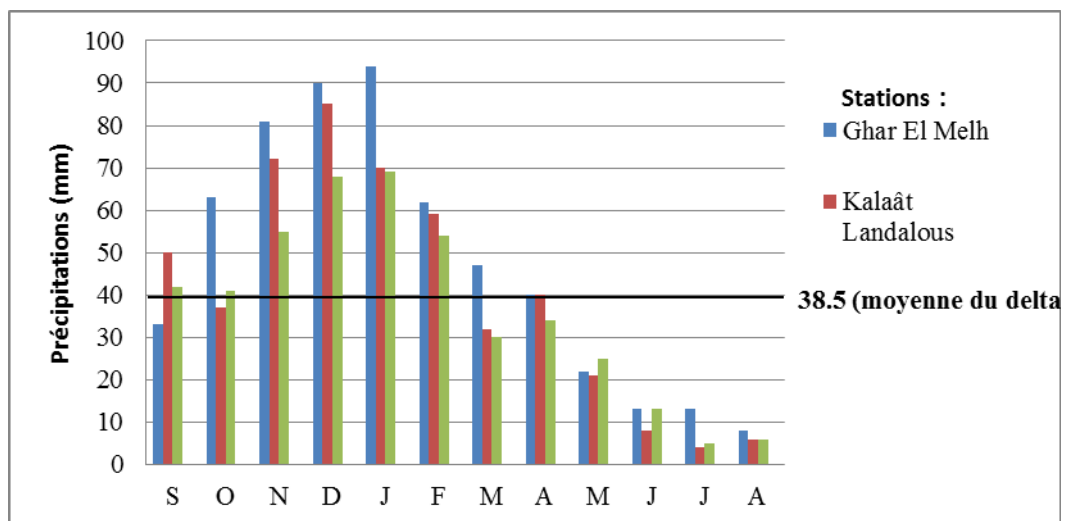
Tableau n°1 : Précipitations moyennes annuelles de différentes stations du delta de Mejerda

Station	Période	Pluviométrie annuelle moyenne (mm)
Ghar El Melh	1954 - 2004	568.5
Zwawine	1990 - 2001	490.9
Kalaât Landalous	1986 - 2004	494.6
Sidi Thabet	1986 - 2004	455.2
Jedeïda	1999 - 2004	487.8
Tebourba	1996 - 2004	423.6
El Battan	1987 - 2004	368.4

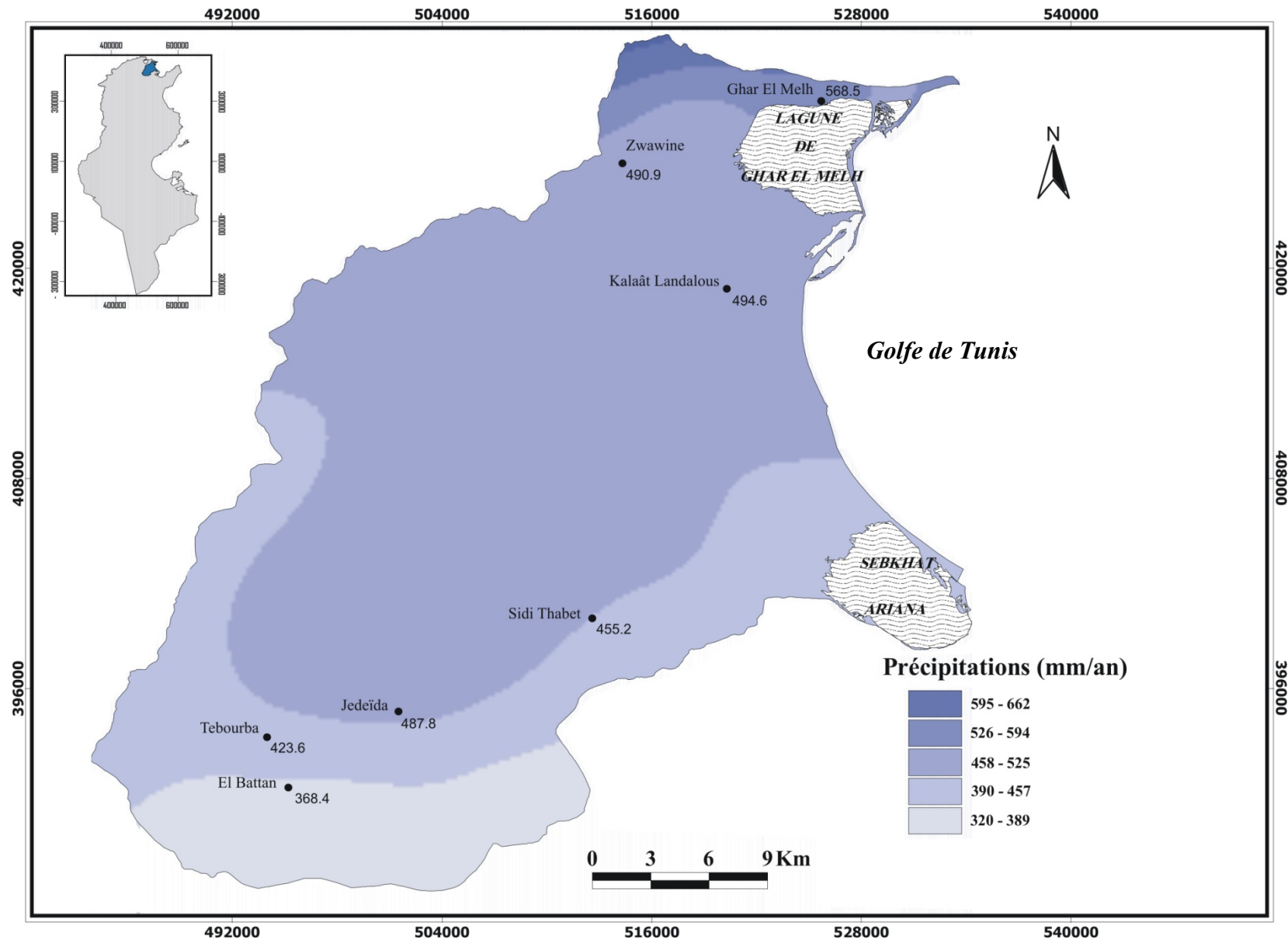
Source : DGRE, 2006

2.3- Un fort contraste pluviométrique saisonnier :

La variabilité à l'échelle saisonnière est plus importante qu'à l'échelle annuelle. En outre, elle est généralement marquée pour les saisons intermédiaires que pour l'hiver. La quasi-totalité des précipitations tombe de septembre à mai et dépasse la moyenne mensuelle du delta (ill. n°11). La période arrosée présente un pic de précipitation au mois de janvier. Les pluies exceptionnelles survenues dans la région n'obéissent pas toujours à cette règle. A titre d'exemple, la ville de Ghar El Melh a reçu en janvier et février 2004, respectivement 130 mm et 137.9 mm (DGRE, 2006). La période non pluvieuse s'étend de juin à août. Il pleut moins de 14mm au mois de juillet aux quatre stations considérées (ill. n°11).



ill. n°11 : Diagramme des moyennes des précipitations mensuelles entre 1987 et 2004, dans quelques stations du delta de Mejerda (DGRE, 2006).

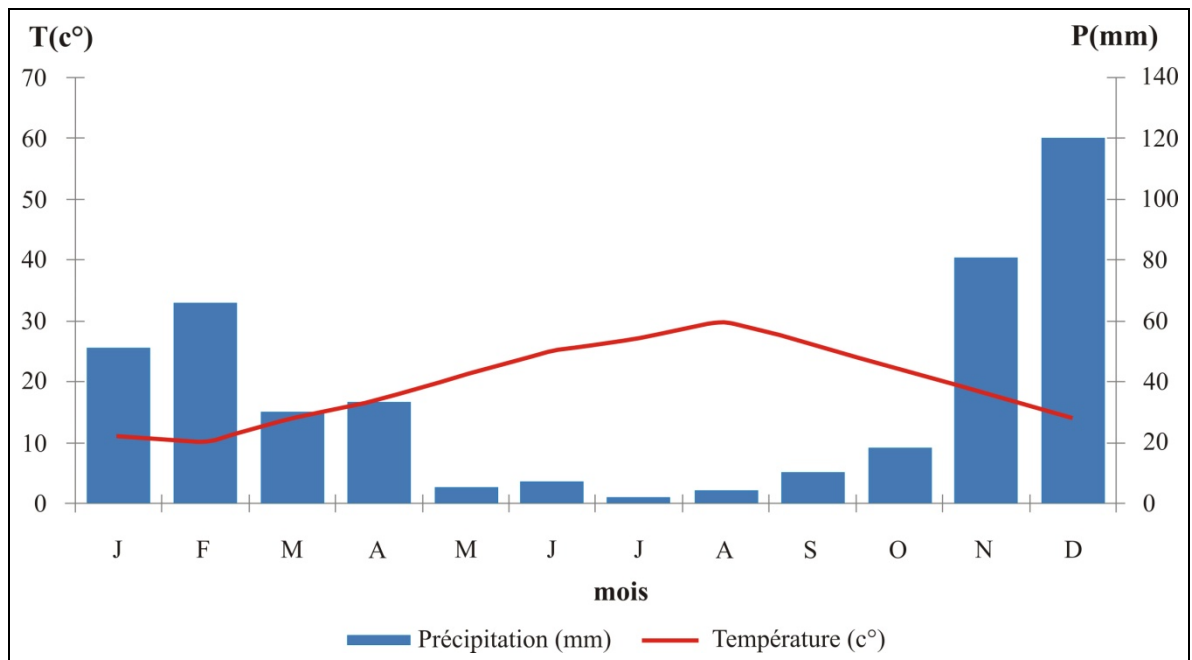


ill. n°12 : Précipitations moyennes annuelles entre 1996 et 2001 dans le delta de Mejerda (INM, 2006)

2.4- Des amplitudes thermiques faibles :

Le régime thermique du Nord Est de la Tunisie est très différent de celui du reste du pays. Les valeurs thermiques des différentes stations du delta de Mejerda montrent que la température moyenne entre 1990 et 2005 est comprise entre 11°C et 11,5°C en janvier, 26°C et 27°C en août, les moyennes maximales n'étant supérieures à 30°C qu'aux mois de juillet et d'août (INM, 2006). L'écart de température entre le mois le plus chaud et le mois le plus froid ne dépasse pas 22 °C. La région est en effet, sous l'influence directe de la mer, ce qui a tendance à régulariser le climat de la frange côtière (EL GAROUANI A., 1995).

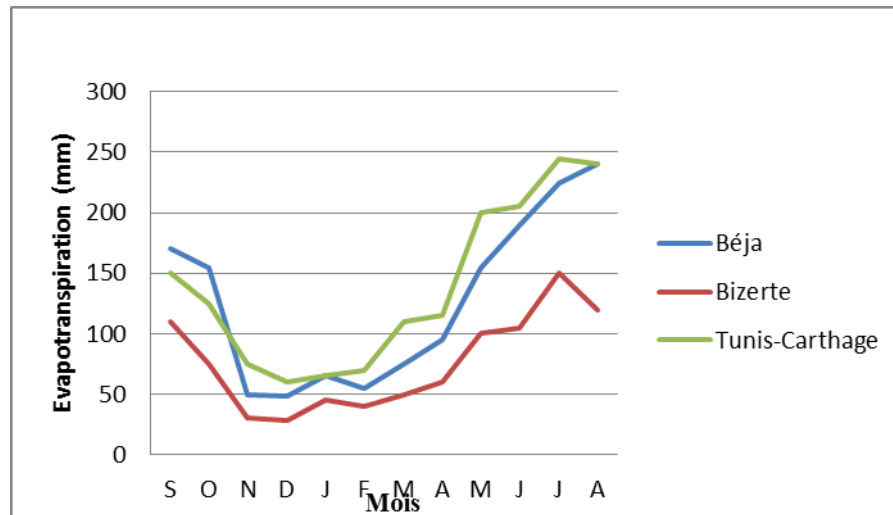
A titre d'exemple, on remarque que le diagramme ombro-thermique de Ghar El Melh (ill. n°13), montre une période chaude allant du mois de mai au mois d'octobre, qui représente aussi une période de déficit hydrique très accusée.



ill. n°13 : Les caractéristiques climatiques de la station de Ghar El Melh (INM, 2006)

2.5- Une forte évapotranspiration :

A défaut de données détaillées concernant l'évapotranspiration, nous nous basons sur celles recueillies dans les stations de Bizerte, Tunis-Carthage et Béja (ill. n°14). Les valeurs de l'évapotranspiration (ETP) sont fortes sous l'effet du rayonnement solaire et des températures élevées surtout en été sous l'effet du sirocco.



ill. n°14 : Moyennes de l'évapotranspiration annuelle (potentielle) entre 1981 et 2006, dans quelques stations de la Tunisie du Nord (INM, 2006)

La répartition spatiale de l'évapotranspiration présente des variations périodiques nettes entre les différentes stations (ill. n°14). Avec la dominance du climat semi-aride supérieur dans la basse vallée, l'évapotranspiration représente 60 à 80 % du retour à l'atmosphère des eaux de pluie (GOILLOT C., 1984 in EL GAROUANI A., 1995).

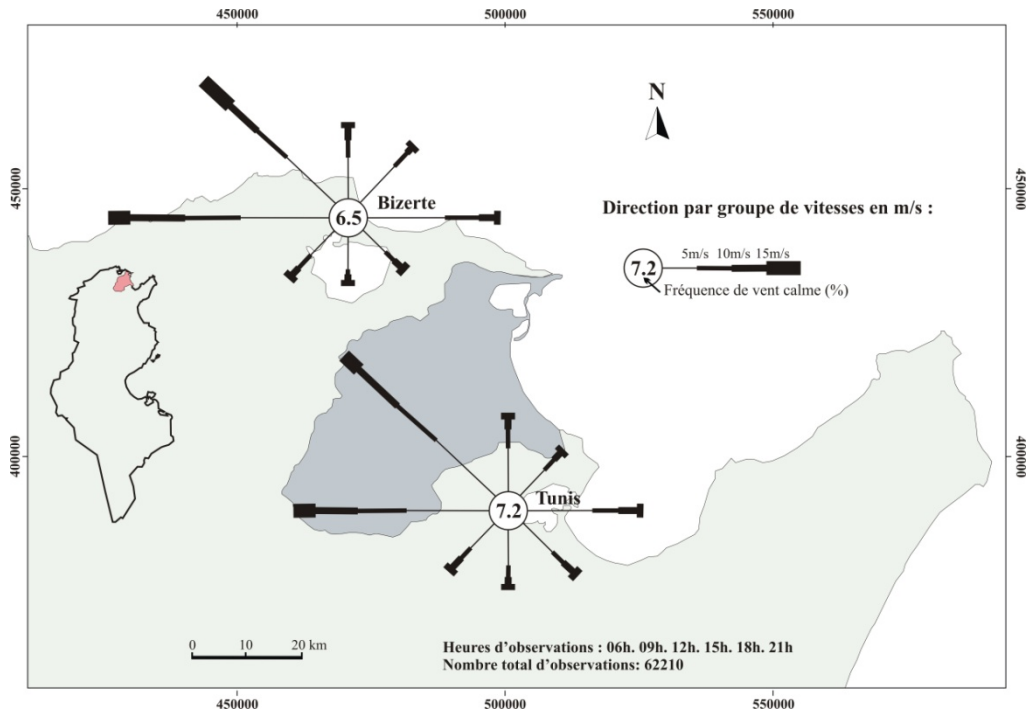
2.6- Les vents :

Faute de données détaillées concernant la vitesse et la direction du vent, nous nous baserons sur celles recueillies dans les stations de Bizerte et Tunis-Carthage (ill. n°15). Généralement, on distingue deux catégories de vent dans le delta de Mejerda :

- les vents frais et humides, qui soufflent des secteurs Nord-Ouest à Est. Ils apportent principalement l'humidité et la pluie pendant la saison froide. En été, leur effet est de tempérer la rigueur des chaleurs.
- les vents continentaux, secs et chauds soufflent des secteurs Sud-Est et Sud-Ouest (sirocco). Ils provoquent de fortes augmentations thermiques (BEN BOUBAKER H. & HENIA L., 2008). Le nombre annuel moyen de jours de sirocco à Tunis est de 22 jours pour la période de 1975 à 1995 (ARNOULD P. & HOTYAT M., 2003).

A l'échelle annuelle, les vents les plus fréquents dans le delta de Mejerda viennent du secteur Nord-Ouest à Ouest (ill. n°15). « Ces vents dominants par leur fréquence le sont aussi par leur vitesse » (BEN BOUBAKER H. & HENIA L., 2008). Les vents les plus forts peuvent atteindre 75Km/h (INM, 2006). Un vent exceptionnel a atteint la vitesse de 180

Km/h le 16 avril 1954 à Bizerte (INM, 2006). Les situations des calmes (< 1 m/s) ont une fréquence moyenne annuelle qui n'excède pas le 8 % dans les deux stations (ill. n°15).



ill. n°15 : Roses des vents de la station de Bizerte et Tunis-Carthage montrant, la vitesse et la direction du vent entre 1995 et 2007 (INM, 2008).

Les vents dominants et les plus forts sont observés au printemps, lors de la période de floraison et de nouaison des arbres fruitiers. En effet, Les agriculteurs ont depuis toujours entrepris des actions de lutte contre le vent, au moyen de la plantation de haie et de brise-vent.

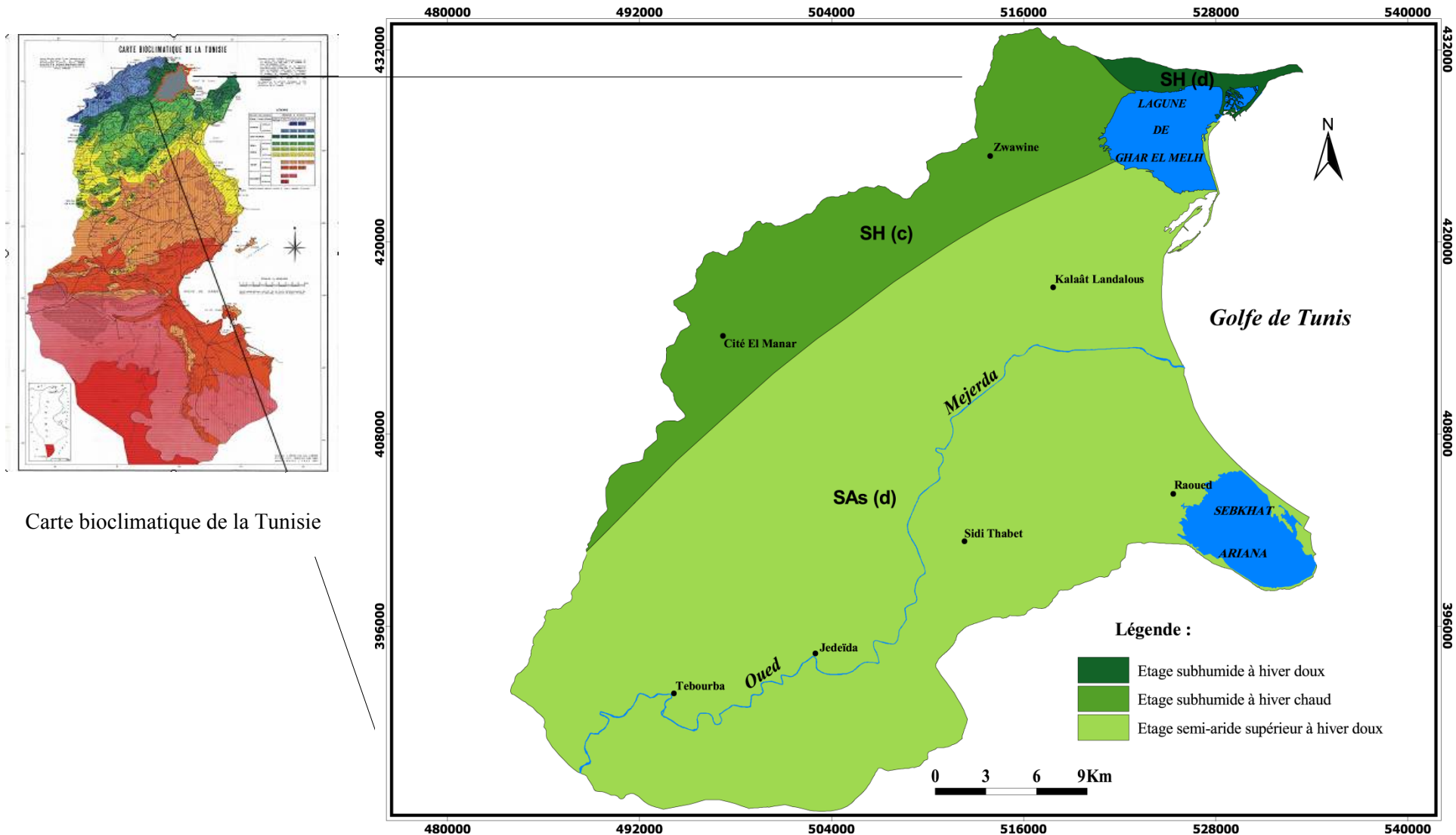
2.7- Dominance de l'étage bioclimatique « semi-aride supérieur » :

D'après la carte bioclimatique de la Tunisie réalisée par GOUNOT M. et LE HOUEROU H.N. en 1955, (modifiée en 1985) le delta de Mejerda appartient aux étages bioclimatiques méditerranéens suivants :

- Etage bioclimatique subhumide où on distingue :

- Subhumide à hivers doux qui s'étend sur environ 1 % du delta et couvre son extrémité Nord-Est (Ghar El Melh) (ill. n°16).
- Subhumide à hivers chauds qui s'étend sur presque 19 % du delta et caractérise les environs de Zwawine et de Aousja, ainsi que les reliefs de Kechabta.

- Etage semi-aride supérieur à hivers doux qui couvre 80 % du delta de Mejerda (ill. n°16).



Carte bioclimatique de la Tunisie

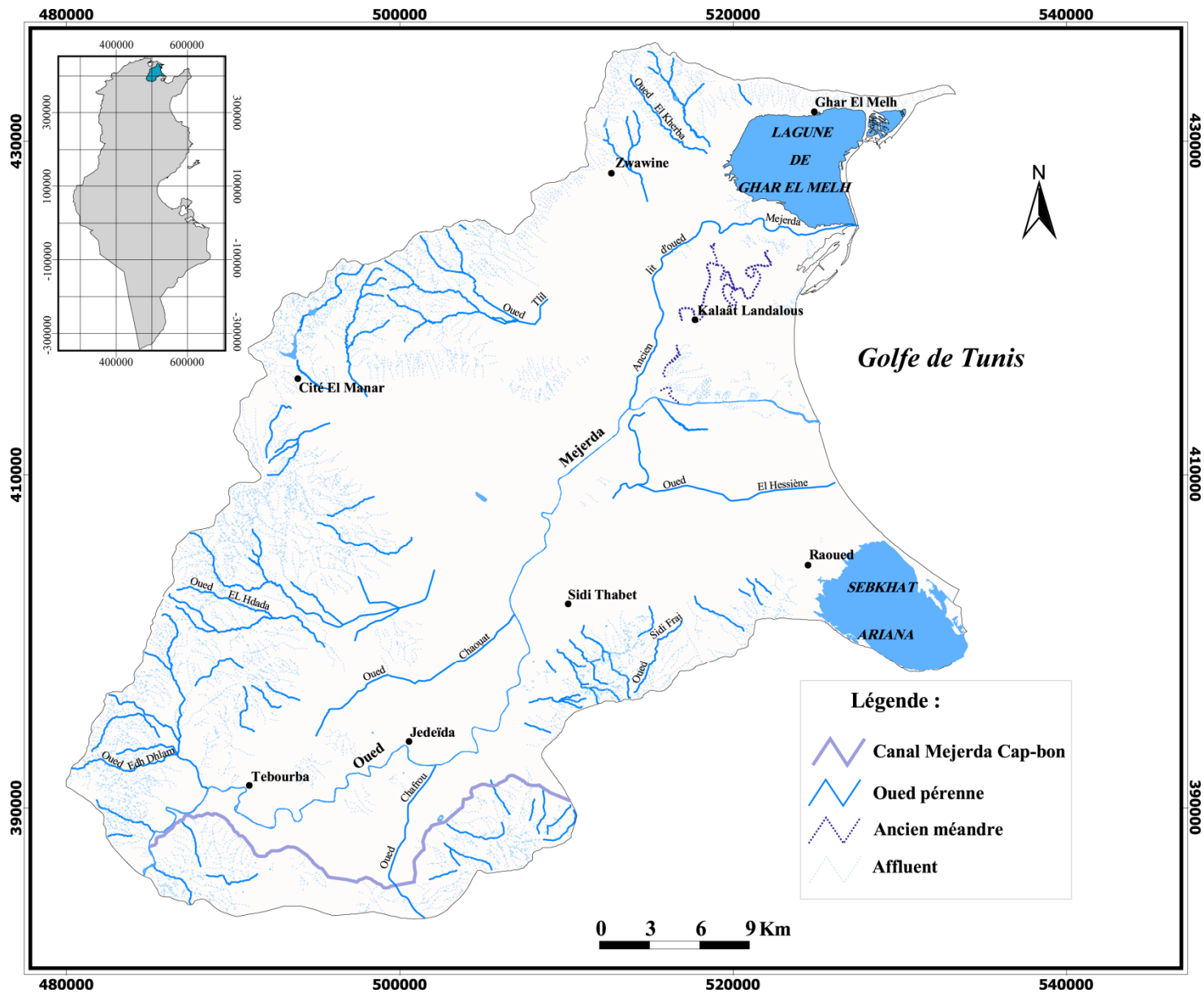
ill. n°16 : Les étages bioclimatiques du delta de Mejerda (d'après GOUNOT M., 1958).

3- L'écoulement de surface et souterrain :

3.1- L'hydrologie du delta de Mejerda :

L'eau est un facteur essentiel dans l'étude de la dynamique d'occupation et d'utilisation du sol. Elle influence la répartition et la nature d'exploitation des couvertures de sols. A l'exception des oueds Mejerda, Chafrou, Khalij et Tlil, la plupart des écoulements draine des bassins versants relativement réduits.

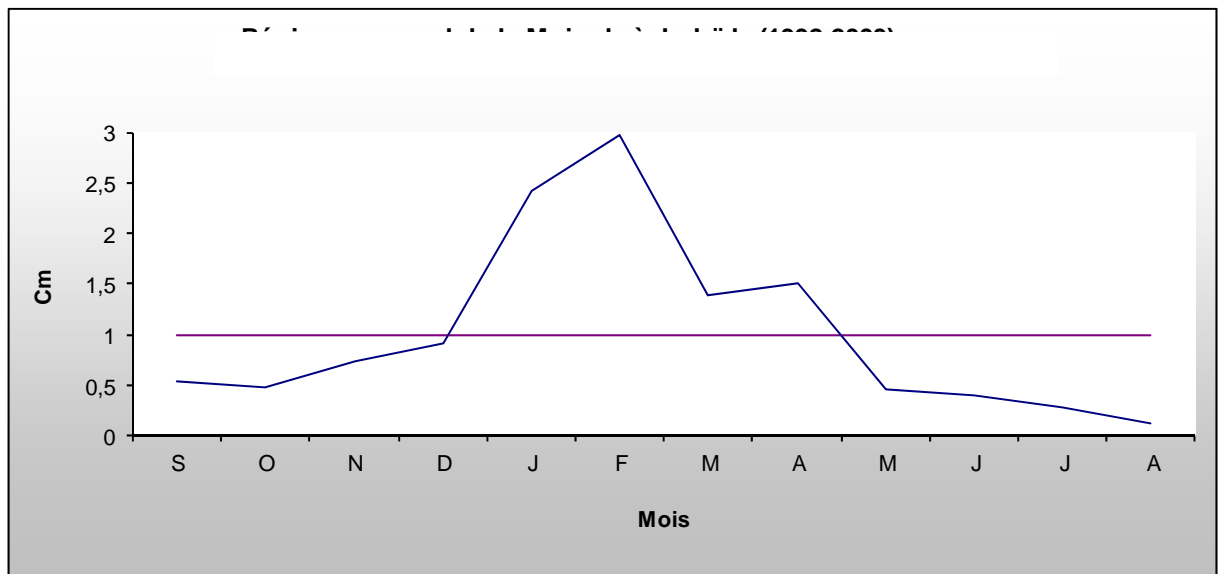
- **L'oued Mejerda :** Par la grandeur de son bassin versant (23500 km²), par la longueur de sa branche principale (485 km), l'oued Mejerda constitue le cours d'eau le plus important en Tunisie (Rodier et al., 1981 in EL GAROUANI A., 1995). Il prend naissance dans les plateaux constantinois en Algérie. Son débit annuel moyen est de l'ordre d'un milliard de m³. Il représente ainsi le douzième des ressources superficielles mobilisables du pays (OMVVM, 1972). Le régime hydrologique de l'oued Mejerda est réduit en aval suite à la réalisation de plusieurs barrages en amont (barrage Sidi Salem, barrage Siliana, barrage Mexina en Algérie...). Ainsi, les crues sont devenues très rares sauf en cas de pluies exceptionnelles.
- **L'oued Chafrou :** Il prend naissance dans une plaine alluviale qui porte son nom et se jette dans le Mejerda au niveau de la ville de Jedeïda (ill. n°17). Le bassin versant drainé par cet oued couvre une superficie de l'ordre de 592 km². Les apports moyens annuels de l'oued sont de l'ordre de 5,5 Mm³/an (MEHAT & SCET, 1996).
- **L'oued Khalij :** Cet Oued reçoit quelques apports descendant des pentes nord du Jebel Ammar (ill. n°17). Il draine un bassin versant de 126,2 Km² (MEHAT & SCET, 1996).
- **L'oued Tlil :** Situé aux pentes sud du Jebel Kechabta, cet oued draine un bassin versant d'environ 35 Km² et forme un débit d'environ 110 m³/s. Confluant avec d'autres affluents, il forme ensuite avec eux l'oued Cherchara en drainant un bassin versant total de 61 km² et dont le débit dépasse 132 m³/s (MEHAT & SCET, 1996).



ill. n°17 : Le réseau hydrographique du delta de Mejerda (source : cartes topographiques de la zone d'étude au 1/25000)

3.2- Le régime hydrologique :

Le régime de Mejerda peut-être défini à l'aide du coefficient mensuel de débit "Cm" qui est égal au rapport du module de chaque mois sur le module annuel ($C_m = Q_{\text{mois}}/Q_{\text{annuel}}$). Le "Cm" permet de dégager de manière simpliste les mois en excédent et les mois de pénurie. On peut déterminer un exemple de "Cm" dans le delta de Mejerda à travers la station de Jedeïda (la seule station de surveillance dans le delta de Mejerda). L'illustration n°18 indique que la période de pénurie s'étant sur huit mois de l'année hydrologique (de septembre à décembre et de mai à août) alors que janvier, février, mars et avril représentent les mois en excédent.



ill. n°18 : Coefficient mensuel de débit calculé à la station de Jedeïda entre 1984 et 2005.
(données brutes, DGRE, 2006)

Toutefois, le "Cm" n'est pas une méthode pertinente pour qualifier le régime hydrologique de Mejerda dans le delta et doit être appuyé par d'autres méthodes (VIGNEAU J.P., 1996). Cela s'explique par le fait qu'on utilise des moyennes calculées sur 21 ans et qui ne représentent pas la réalité. Elles n'indiquent pas les années qui se démarquent. En effet, en septembre 1999, le débit moyen mensuel a été de $1.44 \text{ m}^3/\text{s}$, alors qu'en septembre 2000, le débit moyen mensuel a été de $10 \text{ m}^3/\text{s}$ (DGRE, 2006).

3.3- L'hydrogéologie du site :

Les infiltrations des crues dans les lits de ces oueds et des pluies dans les plaines alluviales alimentent les nappes souterraines dans cette zone. Il s'agit ici de dégager les grands ensembles des ressources souterraines afin de comprendre certains problèmes qui

affectent le système sol/nappe que constitue l'aquifère. A travers, la lecture de la carte des ressources en eau de la Tunisie au 1/200 000 (la feuille de Tunis et la feuille de Bizerte), la consultation des inventaires (réalisés par les Commissariats Régionaux au Développement Agricole du Grand Tunis) et les données bibliographiques, on distingue :

3.3.1- Les nappes phréatiques :

Les nappes phréatiques du Nord Est de la Tunisie, ont des ressources importantes évaluées à 45 Millions m³ environ (M.A. & AGRAR-UND HYDROTECHNIK GMBH, 1993). Les nappes intérieures ont bénéficié de la mise en eau précoce des périmètres irrigués par l'Office de la Mise en Valeur de la Vallée de Mejerda (O.M.V.V.M). Tandis que les nappes côtières ont subi depuis 25 ans une large surexploitation qui s'est révélée dangereuse à long terme.

« La surexploitation peut être aussi, pour les nappes riverains de sebkhas, à l'origine d'un appel d'eau salée » (HENIA L. & BENZARTI Z., 2008). Les puits de surface difficilement contrôlable, explique aussi la pression exercée sur les ressources des nappes phréatiques. C'est le cas de la nappe de Aousja-Basse vallée qui enregistre un déficit de 3.9 Mm³ (tableau n° 2).

Dans la zone côtière, des intrusions d'eau marine ont eu lieu entre Ghar El Melh et Sebkhath Ariana (ill. n°19), tandis qu'à l'intérieur des terres, la salinité a considérablement augmenté durant ces trente dernières années. En effet, la situation en 1990 était assez préoccupante, comme l'indiquent les données de l'étude « Economie d'eau 2000 » du Ministère de l'Agriculture présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau n°2 : caractéristique de quelques nappes phréatiques du delta de Mejerda.

Nappes Phréatiques	Ressources	Exploitation		Salinités (g/l)	
	(Mm ³)	(Mm ³)	Nombre de puits	Minimale	maximale
Aousja-Basse vallée	7	10,9	800	2	4
Soukra-Basse vallée	10,5	3,9	230	2	4
La basse vallée de Mejerda	15*	de 3 à 10*	-	2	4

Sources: M.A. in MEHAT & SCET, 1996;

* HENIA L. & BENZARTI Z., 2008.

Généralement, on distingue les grands ensembles suivants :

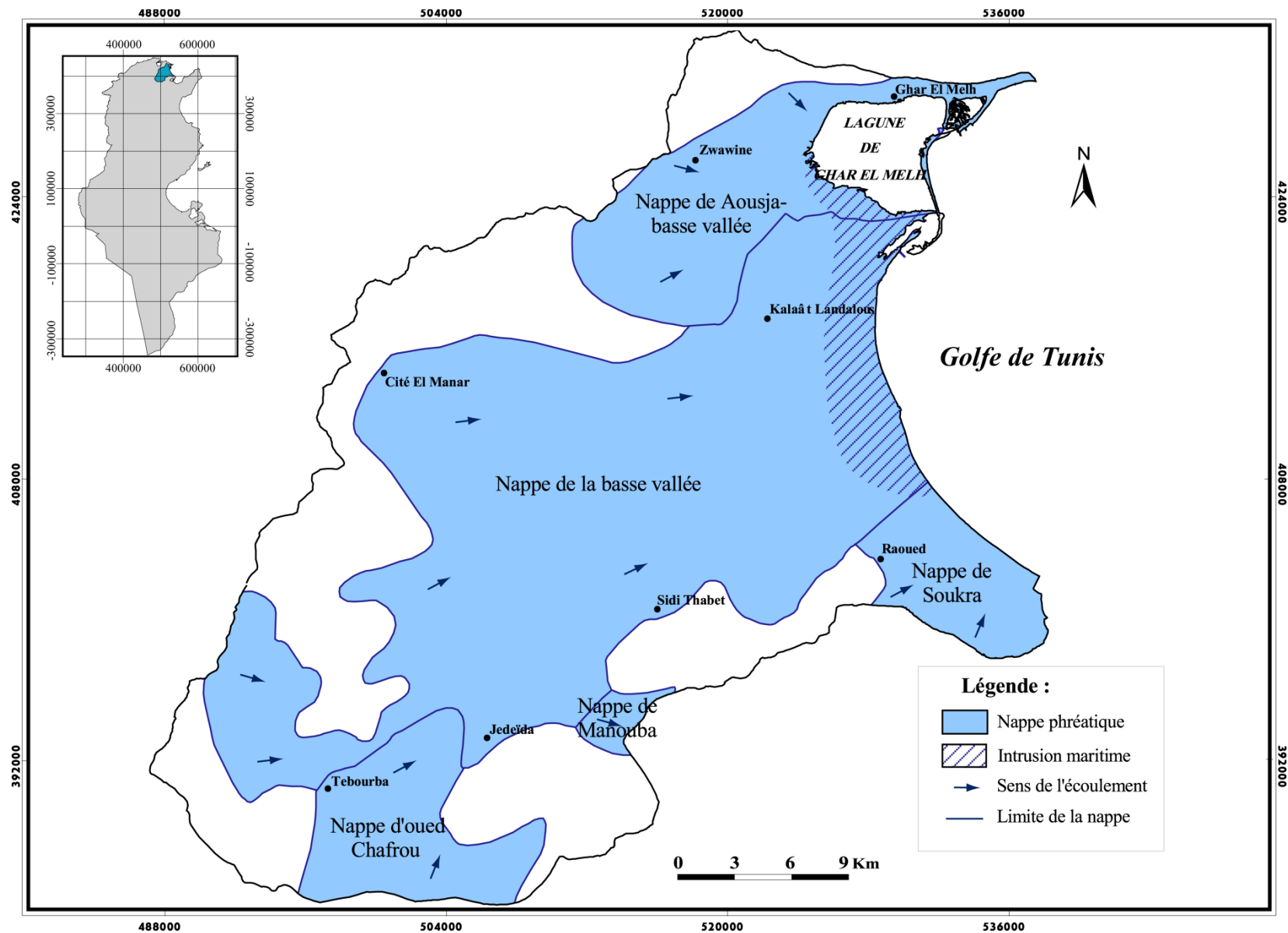
- **La nappe de la Basse vallée de Mejerda :** Cette nappe phréatique est située à cheval entre les gouvernorats de Bizerte et de l'Ariana (ill. n°20) et s'alimente à partir des eaux de l'oued Mejerda, ainsi qu'à partir de l'infiltration des précipitations. L'écoulement de la nappe se fait du SW vers le NE.
- **La nappe d'oued Chafrou :** À l'ouest la nappe d'oued Chafrou bénéficie des apports de surface du bassin de l'oued el Melah et aussi des apports souterrains en provenance du synclinal de Henchir El Moun-Jebel Es-Sbaa.

Sur la rive droite de l'oued Chafrou, les apports en provenance du massif pliocène du Jebel Aïn el Krifa paraissent modestes. L'écoulement est de direction W-E, il change de direction SW-NE. Cette direction est imposée par l'orientation structurale. Ensuite l'écoulement s'y étale sur les vastes étendues des Henchir Halouane, Meslem, El Hattab, El Abassi, Choubane et voit son gradient hydraulique général le long de l'oued Chafrou s'atténuer considérablement.

La totalité de la nappe renferme des eaux assez chargées dont le résidu sec est supérieur à 1,5 g/l. Au niveau de la bordure, les eaux sont moins chargées (M.A. in MEHAT & SCET, 1996).

- **La nappe phréatique de Aousja-basse vallée :** Cette nappe phréatique est logée dans les alluvions de la basse vallée de Mejerda. L'essentiel de son alimentation est assurée par les infiltrations des eaux de cet oued. L'écoulement de la nappe se fait du SW vers le NE et du NW vers le SE.
- **La nappe phréatique de Manouba :** Cette nappe est alimentée par les apports directs (infiltration des précipitations), et par les reliefs qui l'encadrent. Cette nappe est drainée par l'oued Gueriana et véhicule aussi les eaux usées vers Sebkhath Séjoumi qui est l'exutoire superficiel des eaux souterraines de tout le bassin versant de Manouba-Séjoumi.

La nappe possède aussi un autre exutoire, c'est la vallée de Tunis au niveau de laquelle l'écoulement des eaux souterraines se dirige vers le Bardo, Bab Saâdoun et le lac de Tunis. L'écoulement souterrain converge vers Sebkhath Séjoumi (NW-SE) (M.A. in MEHAT & SCET, 1996).



ill. n°19 : Les nappes phréatiques du delta de Mejerda et les rejets industriels
 (Elaboration personnelle à partir des données des CRDA du Grand Tunis et Ministère de l'Agriculture & AHT, 1998)

- **La nappe phréatique de Soukra :** Le gradient hydraulique de cette nappe est très faible. Les eaux affichent des taux de salinité exceptionnellement élevés (entre 2g/l et 4g/l). C'est pour cela que l'exploitation est très faible malgré les ressources (tableau n°2) et c'est dans ce contexte que s'inscrit le projet « Tunis ville ciblée ». En effet, ce programme administré par le Club UNESCO-ALESCO, vise à améliorer les conditions socioéconomiques de la population de la ville de Soukra par la valorisation des eaux pluviales et des eaux traitées à des fins agricoles urbaine et périurbaine.

3.3.2- La nappe profonde de la basse vallée de Mejerda :

Les ressources de cette nappe sont évaluées à 0.06 million de m³. L'exploitation annuelle est de l'ordre de 0.06 Mm³ (M.A. & AGRAR-UND HYDROTECHNIK GMBH, 1993). Cette nappe présente une assez faible fluctuation de sa salinité, qui varie entre 1 g/l et 1,5 g/l (HENIA L. & BENZARTI Z., 2008).

En somme, les ressources superficielles du delta de Mejerda sont surexploitées ce qui a parfois contribué à une intrusion maritime et une augmentation de la teneur en sel. Après l'indépendance, l'Etat a intégré la basse vallée dans le Plan Directeur des Eaux du Nord (PDEN), ce qui a complètement transformée la région, et contribué à la mise en valeur des terrains (CHERIF A., 1998).

4- Les caractéristiques du biotope :

4.1- L'influence du climat sur la pédogenèse :

La dominance du climat méditerranéen notamment l'étage bioclimatique "semi-aride supérieur" qui caractérise le delta de la basse vallée de Mejerda, accentue certains processus et explique la présence de sols soit peu évolués. En effet, parmi les phénomènes induits par le climat, on peut citer :

- **la vertisolisation** : qui s'exprime par des modifications subies par les matériaux argileux qui peuvent se disséquer en période sèche et se gonfler d'eau en période arrosée ce qui entraîne les polygones morcelés dont les fentes se prolongent profondément à l'intérieur du sol, délimitant une structure large en blocs prismatiques (HABANE A., 2004).
- **l'hydromorphie** : qui se produit dans les secteurs où la nappe est proche de la surface. Dans les plaines alluviales de la haute et basse vallée caractérisées par un

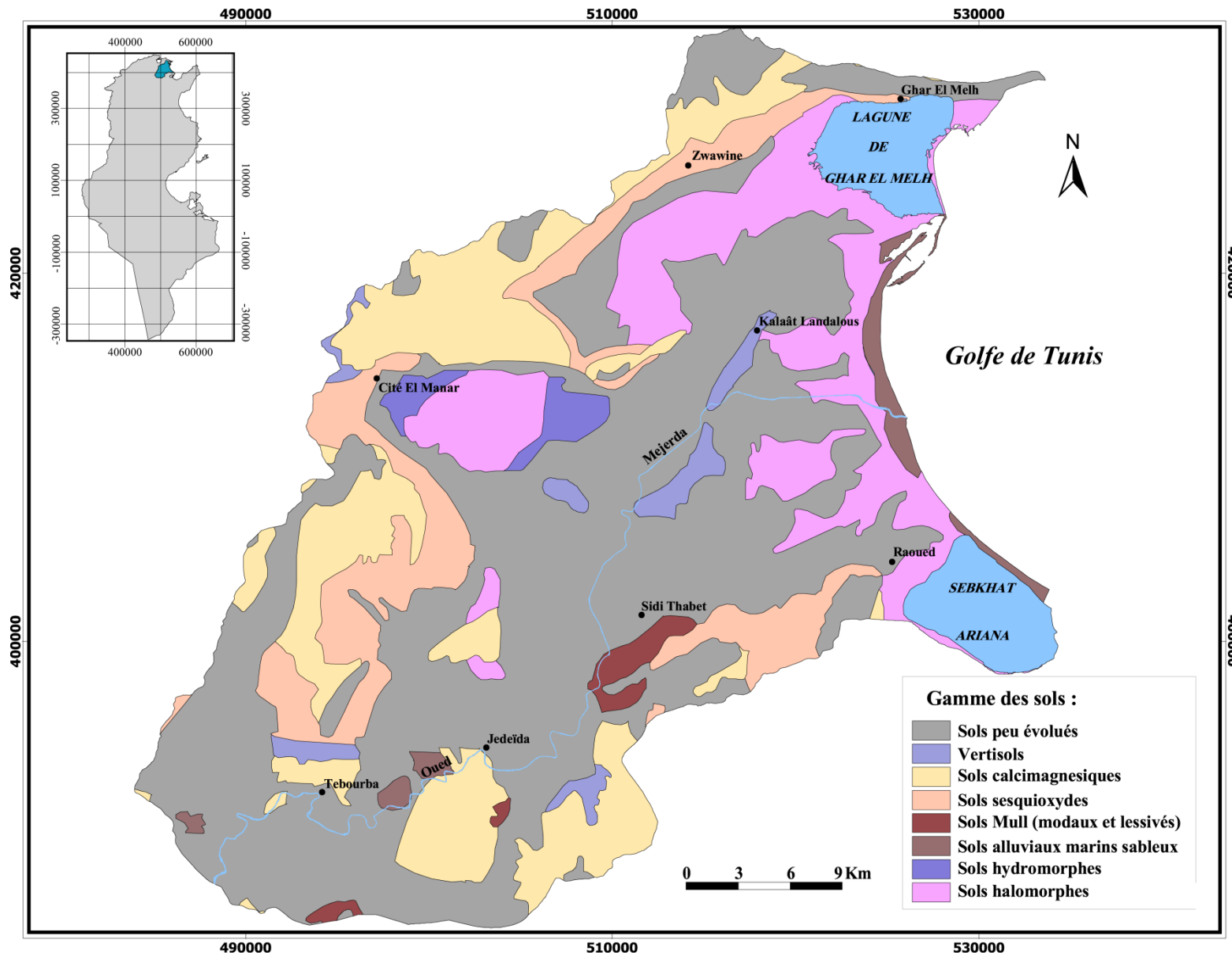
mauvais drainage, la présence d'une nappe superficielle multiplie les possibilités d'hydromorphie.

- ***l'halomorphie*** : qui se manifeste dans des secteurs déprimés remplis par des eaux de ruissellement ou de crues et qui subissent une forte évaporation à la suite de laquelle se forme une couche de sel.
- ***l'érosion*** : qui peut-être intense et le décapage qu'elle exerce sur le sol empêche la pédogenèse (HABANE A., 2004).

4.2- La prédominance des sols d'apport alluvial des oueds :

Les sols de la basse vallée de Mejerda ont fait l'objet de plusieurs études pédologiques. La description des sols a été réalisée par FINIELZ H., et al. (1949), qui distinguent :

- ***Les sols peu évolués d'apport alluvial*** : Ce sont des sols d'accumulation disposés en strates homogènes et se localisent sur les terrasses récentes formées dans tous les méandres de la basse vallée de Mejerda. Ils sont profonds, ayant une texture et une perméabilité variables. Ils présentent des caractères de vertisolisation, d'hydromorphie et de salure (ill. n°20).
- ***Les vertisols*** : Ce type de sol présente un profil très homogène par sa structure qui est fine ou très fine (argileuse) et sa structure grossière de type prismatique. La teneur en argile très élevée (60 à 70%) confère à ces sols une forte compacité et leur perméabilité est donc quasi nulle. Ils caractérisent les environs Ouest de Kalaât Landalous et Tebourba ainsi qu'une partie du versant Nord de Jebel Aïn Krime.
- ***Les sols calcimagnésiques*** : Ces sols caractérisent la majorité des versants de Jebel Nechrine, de Jebel Kechabta, de Jebel Menzel Ghoul et de Jebel Aïn Krime (ill. n°20). La profondeur du sol est limitée dans certaines zones par la croûte calcaire proche de la surface. Ce sont des sols très peu profonds, bien structurés, de texture équilibrée et perméables mais leur capacité de rétention d'eau est très faible.
- ***Les sols halomorphes*** : Ces sols sont largement répandus dans le domaine d'Utique, Garaât El Mabtouha et Garaât Ben Ammar. L'origine de la salure provient essentiellement de la concentration par évaporation d'eaux faiblement salées. Ces dernières sont soit des eaux d'irrigation, soit des eaux de ruissellement provenant des reliefs avoisinant et s'enrichissant de sel lors de leur passage sur certaines roches



ill. n°20 : Carte pédologique du delta de Mejerda (Cartes de ressources en sols ; feuilles de Tunis et de Bizerte au 1/20000 traitées)

géologiques, tel que le trias. Ces eaux convergent vers les régions basses et alimentent les nappes phréatiques provoquant ainsi leur remontée capillaire et induisant des submersions temporaires (EL GAROUANI A., 1995). La présence de sels solubles et alcalis engendre une dégradation de la structure du sol et une baisse de leur perméabilité (ill. n°20).

➤ **Les sols hydromorphes** : Dans le delta de Mejerda, l'hydromorphie est due essentiellement à l'engorgement temporaire à la suite d'une imbibition capillaire des sols (EL GAROUANI A., 1995).

Elle peut être aussi liée à la présence d'un empilement de nappes permanentes ou temporaires communicantes qui résultent de l'alternance de couches argileuses imperméables et de couches sableuses perméables formant la plaine alluviale du delta de Mejerda. Les sols hydromorphes occupent les environs de garaât El Mabtouha (ill. n°20).

Au terme de cette description, les données pédologiques du delta de Mejerda, montrent une prédominance des sols peu évolués d'apport alluvial. Ces sols présentent souvent une texture moyenne à fine ce qui les rend peu perméables. Les vertisols se caractérisent par une teneur élevée en argiles et sont pratiquement imperméables. Dans les zones basses, apparaissent des sols hydromorphes et halomorphes très mal drainés.

En somme, l'importance des terrains tendres et imperméables offre des milieux favorables au ruissellement. La faiblesse des pentes contribue à leur stagnation comme c'est le cas dans la plaine d'El Mabtouha.

4.3- La phyto-écologie du delta de Mejerda.

L'étude de l'évolution de l'occupation et l'utilisation du sol, implique l'utilisation judicieuse d'un descripteur multithématique que traduit le degré de sensibilité et d'évolution de chaque milieu distinct.

La végétation peut être considérée comme ce descripteur multithématique puisqu'elle intègre en chaque point plusieurs facteurs écologiques, tels que la pédologie, le climat, les interactions plante-plante, enfin l'intervention humaine.

L'occupation humaine très ancienne de la zone d'étude, encadrée par de nombreux sites puniques et romains, a définitivement éliminé la forêt des terres cultivables (DGF, 1995). Par conséquent, il est assez difficile de reconstituer avec précision les limites de

quatre végétations climaciques initiales dans la région Nord-Est de la Tunisie (le climax du chêne liège, le climax du chêne kermès, le climax de l'olivier lentisque et le climax de thuya de barbarie).

A travers la carte phytocéologique de la Tunisie septentrionale ; la feuille n°II se rapportant sur la région de Bizerte-Tunis (ill. n°21), on remarque que le delta de Mejerda est occupé par la végétation naturelle primitive, la végétation naturelle des milieux humides et les diverses catégories des cultures. On distingue :

4.3.1- Les unités zonales :

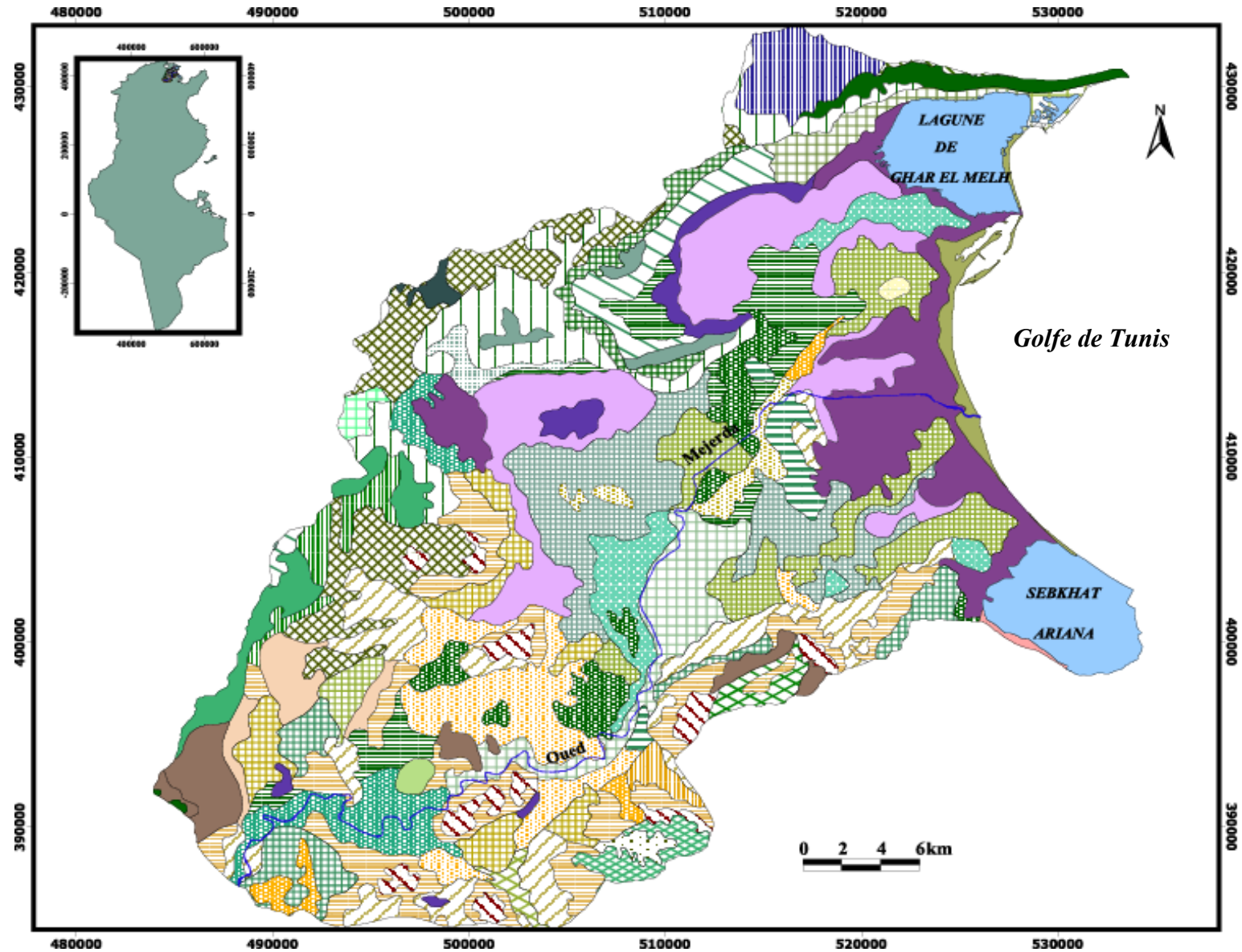
La végétation des Jebels : Ce type est fortement dégradé par l'érosion, les essences les plus conservées sont le chêne vert qui s'associe à l'oléo-lentisque et au caroubier (EL GAROUANI A., 1995).

- **La végétation des piémonts et des plaines :** Sur les glacis encroûtés, la végétation spontanée est limitée à quelques espèces suivant la profondeur de la croûte (ill. n°21). Dans les plaines alluviales, le développement de la végétation naturelle est conditionné par l'hydromorphie et la salure (EL GAROUANI A., 1995).

4.3.2- Les unités azonales :







Dépendent plus des conditions édaphiques extrêmes que des conditions climatiques de la région (NABLI M.A., 1995). On distingue :

- **Les groupements halophiles :** On rencontre d'importantes superficies colonisées par les plantes halophiles dans tout le delta de Mejerda dominée par la présence de l'*Hordeum Maritimum* (orge sauvage), la *Salicornia Arabica*, l'*Halocnemum stabilocemum*, et l'*Arthrocnemum indicum* (ill. n°21). Selon NOVIKOFF (1964), (in BRAHMI N., 2006) ; le groupe écologique d'*Hordeum Maritimum* indique un sol alcalin plus au moins salé, et une mauvaise structure de l'horizon de surface.
- **Les groupements hygrophiles :** Les plantes fréquentes et caractéristiques sont entre autres : *Juncus subulatus*, *juncus maritimus*. Elles sont souvent présentes sur le bord du fossé de drainage, *Scirpus maritimus* et *Scirpus lacustris*...etc. Ces espèces sont cartographiées dans le secteur de garaât El Mabtouha et sur les bordures de la plaine d'Utique (ill. n°21).









ill. n°21 : La carte phytocéologique du delta de Mejerda (Extrait de la carte phytocéologique de la Tunisie septentrionale, feuille n°II, Bizerte-Tunis)

Légende :**Les unités forestières:**

	Groupement à <i>Olea europaea</i> , <i>Pistacia Lentiscus</i> et <i>Smilax aspera</i>
	Groupement à <i>Ceratonia siliqua</i> , <i>Olea europaea</i> et <i>Origanum Onites</i>
	Groupement à <i>Callitris articulata</i> et <i>Lavendula multifida</i>
	Groupement à <i>Callitris articulata</i> , <i>Cistus Libanotis</i> et <i>Rosmarinus officinalis</i>
	Groupement à <i>Olea europaea</i> et <i>Pistacia Lentiscus</i>
	Groupement à <i>Ammophila arenaria</i> et <i>Aristida pungens</i>

Les unités des terres cultivées :

	Groupement à <i>Hedysarum coronarium</i> , <i>Picris echioides</i> et <i>Centaurea Schouwii</i>
	Groupement à <i>Picris echioides</i> , <i>Mentha pulegium</i> et <i>Galactites tomentosa</i>
	Groupement à <i>Picris echioides</i> , <i>Ridolfia segetum</i> et <i>Galactites tomentosa</i>
	Groupement à <i>Ammi Visnaga</i> et <i>Galactites tomentosa</i>
	Groupement à <i>Hedysarum coronarium</i> , <i>Picris echioides</i> et <i>Galactites tomentosa</i>
	Variante à <i>Cynara Cardunculus</i>
	Groupement à <i>Hedysarum coronarium</i> , <i>Picris echioides</i> , <i>Lygeum Spartum</i> et <i>Galactites tomentosa</i>
	Groupement à <i>Ridolfia segetum</i> , <i>Silybum Marianum</i> , <i>Mentha pulegium</i> et <i>Galactites tomentosa</i>
	Groupement à <i>Ridolfia segetum</i> , <i>Silybum Marianum</i> et <i>Galactites tomentosa</i>
	Groupement à <i>Silene tunetana</i> , <i>Convolvulus tricolor</i> et <i>Galactites tomentosa</i>
	Groupement à <i>Convolvulus tricolor</i> , <i>Hypericum crispum</i> et <i>Galactites tomentosa</i>
	Groupement à <i>Chrysanthemum coronarium</i> , <i>Hypericum crispum</i> et <i>Galactites tomentosa</i>
	Groupement à <i>Chrysanthemum coronarium</i> et <i>Galactites tomentosa</i>
	Groupement à <i>Raphanus raphanistrum</i> , <i>Mentha pulegium</i> et <i>Galactites tomentosa</i> Variante à <i>Solanum Sodomaeum</i>
	Groupement à <i>Silene colorata</i> , <i>Onopordon nervosum</i> et <i>Centaurea napifolia</i>
	Groupement à <i>Ormenis mixta</i> , <i>Chrysanthemum segetum</i> et <i>Galactites tomentosa</i> Variante à <i>Solanum Sodomaeum</i>
	Groupement à <i>Picris echioides</i> , <i>Ridolfia segetum</i> et <i>Bupleurum lancifolium</i>
	Groupement à <i>Hedysarum coronarium</i> , <i>Picris echioides</i> et <i>Bupleurum lancifolium</i>
	Groupement à <i>Hedysarum coronarium</i> , <i>Chrysanthemum coronarium</i> et <i>Bupleurum lancifolium</i>
	Groupement à <i>Scandix pecten-Veneris</i> , <i>Hypericum crispum</i> et <i>Bupleurum lancifolium</i>
	Groupement à <i>Convolvulus tricolor</i> , <i>Hypericum crispum</i> et <i>Bupleurum lancifolium</i>
	Groupement à <i>Silene tunetana</i> , <i>Hypericum crispum</i> , <i>Bupleurum lancifolium</i> et <i>Euphorbia serrata</i>
	Groupement à <i>Euphorbia serrata</i> et <i>avena sterilis</i>
	Groupement à <i>Silene colorate</i> , <i>Onopordon nervosum</i> et <i>Hypericum crispum</i>
	Groupement à <i>Raphanus raphanistrum</i> et <i>Hypericum crispum</i>

	Groupement à <i>Hedysarum coronarium</i> et <i>Echinops strigosus</i>
	Groupement à <i>Launaea resedifolia</i> et <i>Onopordon nervosum</i>
	Groupement à <i>Euphorbia terracina</i> , <i>Launaea resedifolia</i> et <i>Papaver Rhoead</i>
	Groupement à <i>Hordeum maritimum</i>
	Groupement à plantes halophiles succulentes
	Groupement fortement hygrophiles

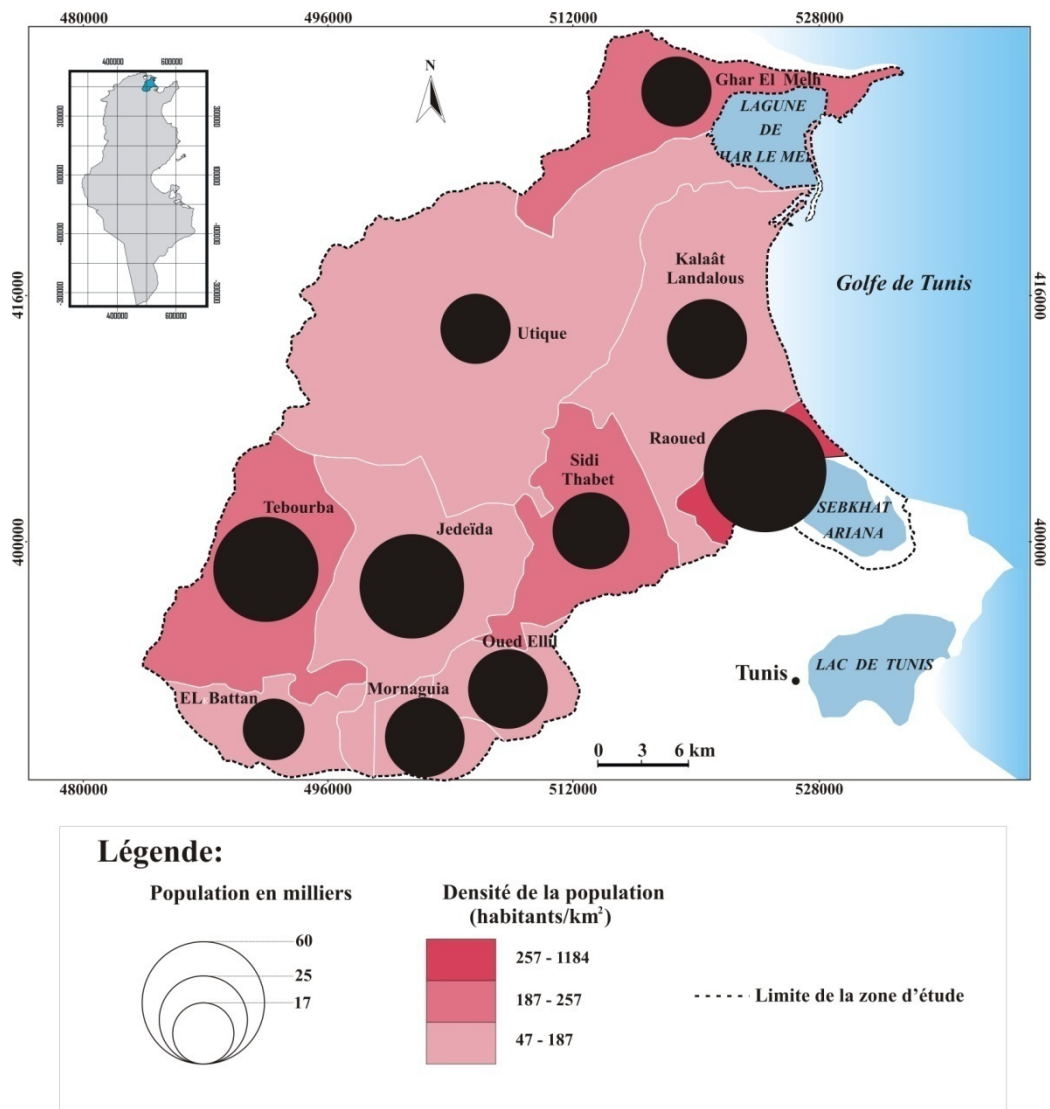
Mosaïques des groupements :

	Mosaïque des groupements KE et HCG
	Mosaïque des groupements IL et PG
	Mosaïque des groupements Df et HYC
	Mosaïque des groupements DF et HB
	Mosaïque des groupements YS et SO
	Mosaïque des groupements ND et HE
	Mosaïque des groupements GM et Hm
	Mosaïque des groupements SM et Hm
	Mosaïque des groupements PB et Hm

5- Le milieu humain :

5.1- La population :

Le delta de Mejerda se trouve administrativement à la rencontre de quatre gouvernorats, Manouba à l'Ouest et au Sud, Bizerte au Nord, Ariana au Sud et au Sud-Est et Tunis ou Sud-Est (OUESLATI A. et al., 2006). Le delta s'étend sur des superficies assez importantes des gouvernorats de la Manouba, de l'Ariana, de Bizerte et de Tunis. Il s'étale presque sur douze délégations ; Tebourba, El Battan, Jedeïda, Mornaguia, Oued Ellil (qui appartiennent administrativement au gouvernorat de Manouba), Sidi Thabet, Kalaât Landalous, Raoued, Soukra (qui appartiennent à l'Ariana), Ghar El Melh, Utique (qui appartiennent à Bizerte) et la Marsa (qui appartient à Tunis). Il comporte une vingtaine de secteurs. Huit petites villes (Ghar El Melh, Utique, Kalaât Landalous, Raoued, Sidi Thabet, Jedeïda, Tebourba et El Battan) érigées en chefs-lieux de délégation (ill. n°22).



ill. n°22 : Distribution de la population dans le delta de Mejerda en 2004 (I.N.S, 2004)

Le delta de Mejerda est l'une des zones les plus peuplées et les plus densément occupées en Tunisie. Une partie indéniable de l'habitat est de type isolé, alors que l'habitat groupé concentre la population la plus nombreuse. Elle compte environ 288.834 habitants en 2004, avec une densité moyenne de l'ordre de 232.07 habitants/km² (ill. n°22).

5.2- Les aménagements :

5.2.1- Les travaux hydrauliques :

Comme l'atteste la présence de nombreuses Garaâ, la topographie plane du delta de Mejerda, zone servant d'exutoire au principal bassin hydrographique de Tunisie, la rend particulièrement sensible aux risques d'inondation. Il est fondamental d'étudier et de comprendre le milieu naturel de la basse vallée sans aucune prise en compte des systèmes haute et moyenne vallée.

La mise en valeur de ces terres alluvionnaires initialement mal drainées et insalubres n'a d'ailleurs été possible qu'après de nombreux aménagements assurant à la fois le drainage (ill. n°25) de ces terrains et la régularisation des cours d'eau s'y déversant, pour réguler leurs apports et améliorer le drainage naturel.

5.2.1.1- Les barrages :

Le bassin versant de Mejerda a fait l'objet de plusieurs aménagements hydrauliques dans le cadre d'une politique originale de gestion des eaux. Les grands barrages situés dans le bassin versant de l'oued Mejerda (Mellègue, Béni Mtir, Bou Heurtma, Sidi Salem, Laroussia, Siliana...) participent tous à la régulation du débit de cet oued.

➤ Historique de la mise en place des barrages :

La construction de barrages sous le protectorat français a été faible même si leur nécessité à l'époque était claire dans les esprits. Les premières tentatives pour lutter contre les inondations ont été entreprises en 1902 par la construction d'un barrage pour séparer le fleuve de l'oued Cherchara (El GAROUANI A., 1995). Puis lors du programme d'aménagement de la basse vallée de Mejerda, on construisit le barrage Mellègue, celui de Beni Mtir et le barrage de retenue de Laroussia.

Les premières décennies de l'indépendance (1956-1970) sont marquées par un interventionnisme qui se fixe pour objectif la construction de plusieurs barrages (Kasseb, Bir Mcherga, Lakhmas, Masri, Chiba, Bezikh...) afin de répondre aux besoins de la population et des différents secteurs. Cet équipement hydraulique allait servir à l'Etat

indépendant comme liant pour rassembler plusieurs secteurs économiques et, implicitement, améliorer les conditions sociales. En effet, la Tunisie devait alors répondre aux besoins de sa population en forte augmentation, alors en pleine transition démographique (MEAT, 1996). Elle devait également répondre aux demandes de l'industrie, dont la concentration au Nord-Est était déjà importante puisqu'elle comptait 68.5% du total des emplois du secteur secondaire (CHERIF A., 1995).

Le Plan Directeur des Eaux du Nord (PDEN) mis en place dès 1970 témoigne d'action volontariste de la part de l'Etat et a concrétisé une politique hydraulique régionale (CHERIF A., 1998). Il s'agissait de répondre rapidement aux besoins de la population et de pouvoir pallier le déficit hydrologique de certains épisodes climatiques. Le rythme de la construction de barrages a alors été rapide (ill. n°23) avec la réalisation des barrages Bou Heurtma (1976), Sidi Salem (1981), Joumine (1982), Siliana (1983), Lebna, Sejnane (1993)...Le PDEN a aussi pour vocation d'inclure les ressources en eaux de surfaces et souterraines.

Le PDEN fonctionne comme un complexe incluant la collecte, le stockage, la distribution et le transfert des eaux. Cependant, ce modèle est tourné vers les régions littorales aux dépens des régions continentales en développement notamment grâce à l'agriculture irriguée et qui présentent des besoins croissants. Par conséquent, on est face à la mise en place d'un système hydraulique qui accentue les disparités spatiales et économiques entre l'intérieur du pays et sa frange orientale (CHERIF A., 1998).

➤ **Localisation et caractéristiques des barrages du bassin versant de Mejerda :**

Nous n'aborderons que les barrages situés en Tunisie. Nous gardons cependant à l'esprit qu'il existe deux barrages en Algérie à Ain Dahlia et Sidi Mansour.

❖ **La haute vallée :**

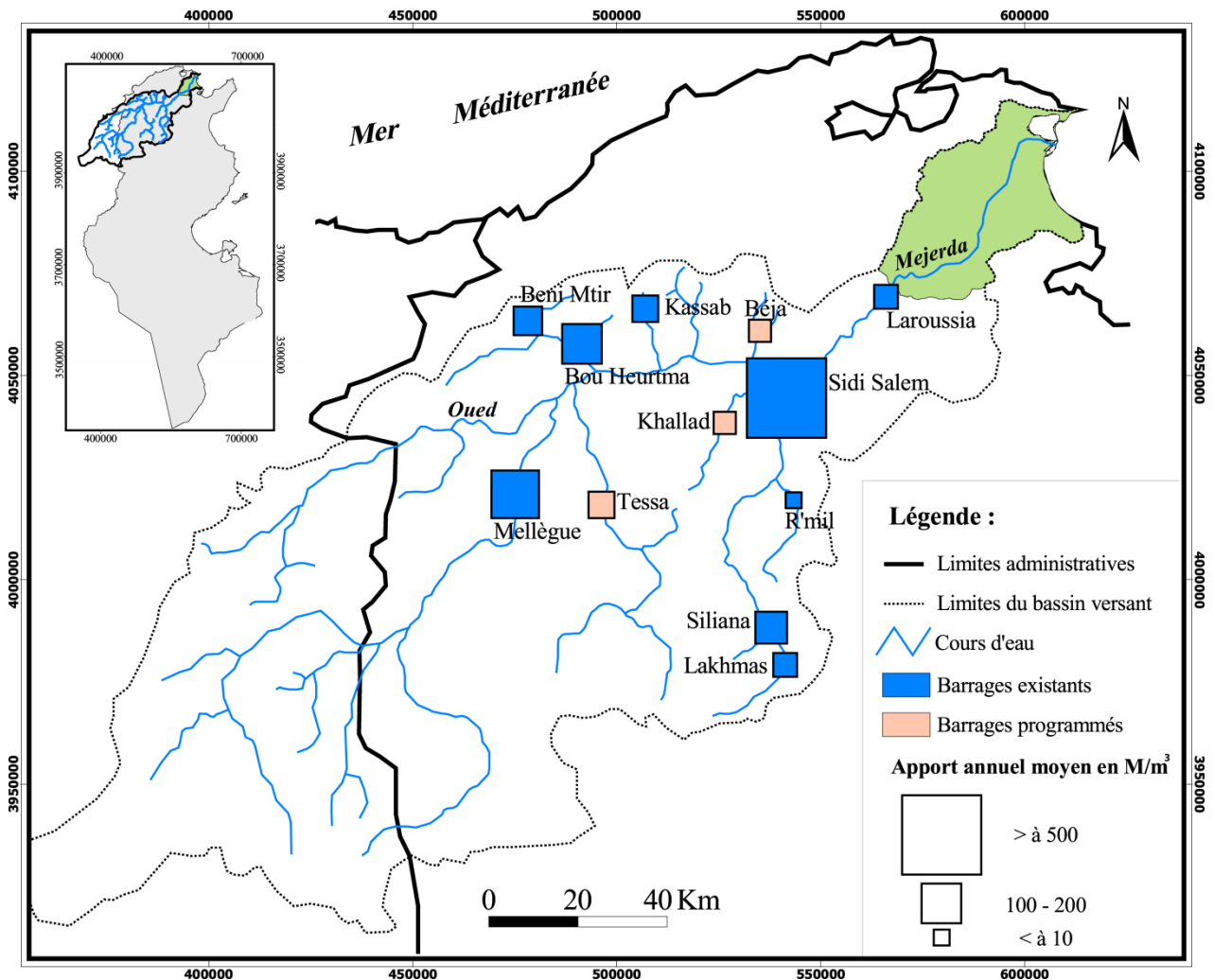
De nombreux barrages ont été construits successivement à partir des années "1950" dans la haute vallée où ils sont les plus nombreux de par l'importance des ressources en eau à contrôler. On y trouve les barrages suivants :

- **Le barrage Mellègue :** C'est le premier barrage construit dans le bassin versant de Mejerda. Il se situe sur l'oued Mellègue affluent principal de la rive droite (ill. n°23).

Il prend source en Algérie dans les Monts de Tébessa et s'oriente suivant une direction Sud-Ouest/Nord-Est. Son bassin versant, d'une surface de 10 610 km², possède un réseau hydrographique dense. En outre, le barrage de Neber achevé, en 1954, contrôle 10 300 km²

du bassin versant avec un apport annuel moyen de 188 Mm^3 . La retenue d'eau s'étale sur 1150 ha s'inscrivant nettement dans le paysage. Le barrage Neber régularise aussi l'apport au barrage Sidi Salem depuis 1981 (HABANE A., 2004).

- **Le barrage Beni Mtir** : Construit également en 1954, est situé sur l'oued El Lil et contrôle la partie amont du bassin versant de l'oued Bou Heurtma avec une surface de 103 km^2 cent fois moins importante que celle du barrage Nebeur. L'apport annuel moyen est d'environ 55 Mm^3 . La côte de la retenue normale 435 m, l'aire de la retenue est de 350 ha (DGBGTH-MARH, 2006).



ill. n°23 : Le bassin versant de Mejerda : Quelques barrages réalisés et programmés. (Elaboration personnelle à partir des données de DGBGTH-MARH, 2006 ; HENIA L. & HLAOUI Z. 2008).

- **Le barrage Kasseb** : Erigé en 1969 sur l'oued Kasseb affluent de rive gauche, contrôle un bassin versant de 101 km^2 . L'apport annuel moyen est d'environ 59.1 Mm^3 . L'aire de retenue est de 430 ha à la côte normale de 292 m (DGBGTH-MARH, 2006).

- **Le barrage Bou Heurtma** : Edifié en 1976, se trouve sur l'oued Bou Heurtma affluent de rive gauche. Il contrôle la partie aval du bassin versant de Bou Heurtma soit 390 km² pour une aire totale de 588 km². L'apport annuel moyen est d'environ 117 Mm³. La surface de la retenue à la côte normale de 221 m est de 894 ha (DGBGTH-MARH, 2006).

❖ La moyenne et la basse vallée :

Nous présentons les barrages de la moyenne puis de la basse vallée dont l'impact sur le paysage est original :

- **Le barrage Sidi Salem** : Réalisé en 1981 sur le cours de Mejerda, se situe en amont de la commune de Sidi Salem et il est en position de transition entre la moyenne et la basse vallée (ill. n°23). Ce barrage est le plus grand ouvrage de la grande hydraulique tunisienne (18 300 km² de bassin versant). Son apport moyen annuel est d'environ 650 Mm³. Le lac de retenue s'étend sur 4 500 ha à la côte de retenue normale de 110 m (DGBGTH-MARH, 2006).

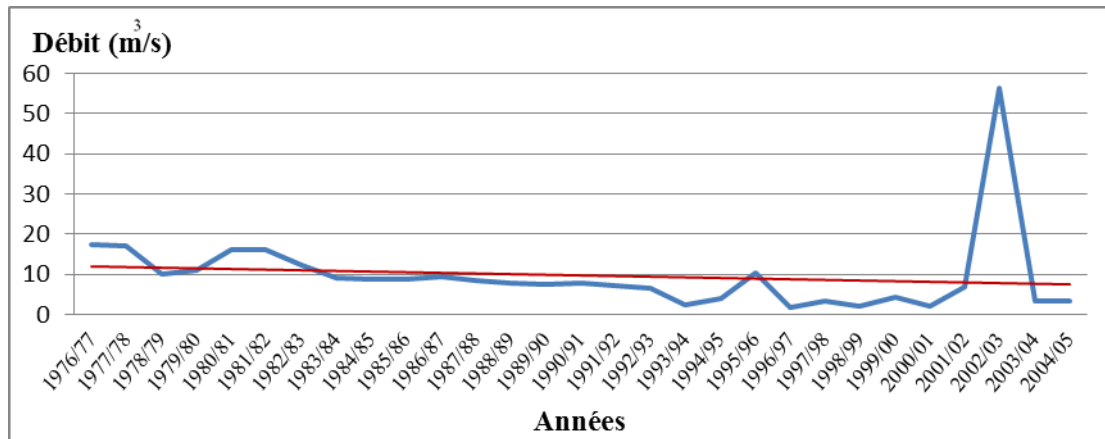
- **Le barrage Lakhmas** : A été le premier barrage édifié en 1966 sur l'oued Siliana. Il contrôle une aire de 127 km². L'aire de la retenue normale est de 102 ha à la côte 517 m.

- **Le barrage Siliana** : Réalisé en 1987, est le second barrage sur l'oued Siliana et couvre une aire de 1 040 km² sur un bassin versant de 2 220 km². L'apport annuel moyen est d'environ 57.9 Mm³. L'aire de la retenue est de 600 ha à la côte normale de 388.50 m (DGBGTH-MARH, 2006).

- **Le barrage de Laroussia** : Est situé sur la Mejerda à 10 km en amont de Tebourba dans la basse vallée (ill. n°23). Il est à la côte normale de 37.50 m. Construit en 1957, il fonctionne comme un barrage du type rivière. Il remonte le niveau des eaux d'une dizaine de mètres.

Ces différents ouvrages ont contribué à régulariser le régime hydrologique de l'oued Mejerda qui paraît très hétérogène. En effet, les barrages répartissent sur toute l'année les écoulements hivernaux les plus abondants. Tout de même, ils ont diminué le débit annuel moyen de l'oued Mejerda (ill. n°24).

Faute de données, nous ne pouvons pas caractériser le débit de l'oued Mejerda avant les inondations de 1973 à la station de surveillance de Jedeïda. Mais, nous avons des estimations faites par CLAUDE et al., (1977) concernant les débits annuels moyens qui varient de 30 m³/s à 35 m³/s pour les années « 60 ».



ill. n°24 : Evolution du débit annuel moyen de l'oued Mejerda à la station de surveillance de Jedeïda entre 1976 et 2005 (données DGRE, 2006).

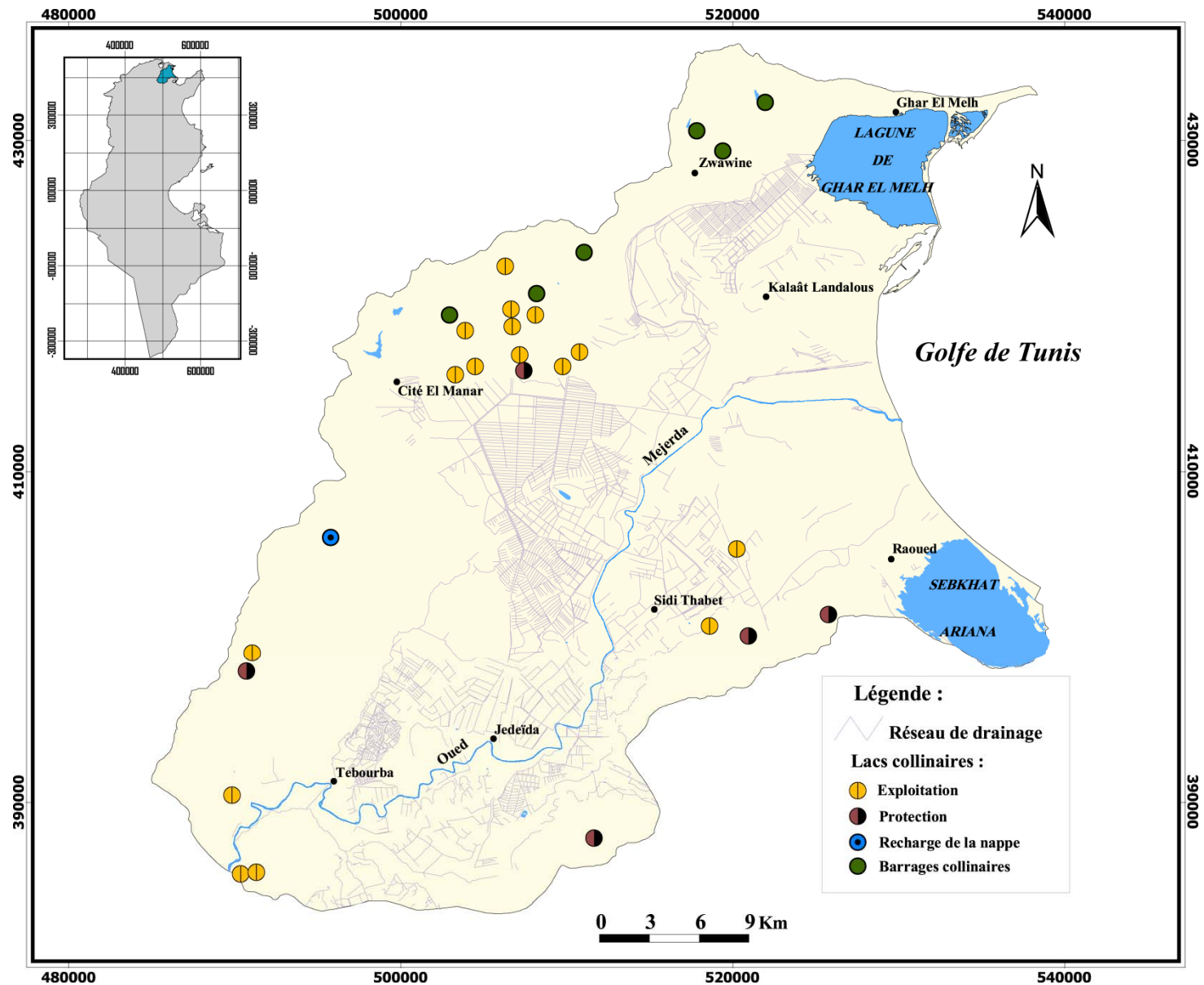
La droite de tendance (ou d'ajustement) figure en rouge dans l'illustration n°24, montre une nette diminution de débit annuel moyen de l'oued Mejerda à la station de surveillance de Jedeïda. L'augmentation de débit notamment pour l'année 2002-2003 est expliquée par les pluies exceptionnelles qui ont engendré de graves inondations.

5.2.1.2- Les lacs collinaires : Utiles à la recharge de la nappe.

Dès 1990, la Tunisie a entrepris de développer un programme ambitieux de construction de petites retenues collinaires (ill. n°25), d'une part, pour contrôler les eaux de ruissellement afin d'éviter l'envasement des grands barrages hydrauliques, et d'autre part, pour fixer la population rurales autour de ces points d'eau (www.ird.org).

Dans le cadre du programme « HYDROMED », des chercheurs de l'IRD (ex-ORSTOM), en partenariat avec l'INGREF (Institut National de Recherches en Génie Rural, Eaux et Forêts, Tunis), ont étudié le rôle de ces retenues collinaires dans la recharge des nappes phréatiques. Le résultat permettra aux autorités locales de choisir des emplacements adéquats pour les retenues d'eau destinées à recharger les nappes phréatiques (www.ird.org). Plusieurs lacs collinaires ont été installés sur les pentes Sud de Jebel Kechabta et sur les pentes Est de Jebel Sidi Bou Ragouba. Ils protègent garaât El Mabtouha et les périmètres irrigués de la rive gauche de l'oued Mejerda. De nombreux autres lacs collinaires sont programmés par les CRDA de Bizerte et de l'Ariana au cours des 20 prochaines années, pour diminuer le ruissellement sur les pentes et les glacis de nombreux Jebels dominant le delta de Mejerda.

5.2.1.3- Les travaux de drainage : Pendant la période coloniale, plusieurs aménagements ont été entrepris pour atténuer les effets des crues et pour drainer des terrains



ill. n°25 : Les différents aménagements hydrauliques du le delta de Mejerda
 (cartes topographiques aux 1/25000 et carte de répartition des lacs collinaires au 1/500000, réalisée par DEROUICHE M.C., 2004)

marécageux. Près de 6000 hectares dans le Domaine d'Utique et presque 9000 hectares à garaât El Mabtouha ont été drainés par des colons. En 1902, il y a eu construction d'un barrage pour séparer le fleuve de l'Oued Cherchara (déversoir de la dépression d'El Mabtouha), (El GAROUANI A., 1995). Vers 1910, la garaâ constitue le canal El Mabtough, collecteur d'eau principal. Par la suite, de nombreux oueds divaguant dans la plaine ont été utilisés comme émissaire principal du réseau de drainage des périmètres irrigués installés en rive droite de l'oued Mejerda. L'émissaire de henchir Tobias est devenu depuis les crues de 1973, le principal lit d'oued Mejerda.

Généralement ces drains, ont été canalisés géométriquement et recalibrés pour faciliter le drainage de la plaine en cas de fortes pluies en hiver, et pour améliorer le lessivage des eaux d'irrigation en été. Cette capacité renforcée de drainage de la basse vallée de Mejerda (ill. n° 25) constitue une protection de toute la zone des périmètres irrigués contre les inondations.

5.2.2- Le reboisement :

Dès le début du XX^{ème} siècle, plusieurs aménagements ont été entrepris afin de contrôler l'érosion hydrique et éolienne et renforcer le couvert forestier. Les différentes étendues forestières qui existaient sur les cartes topographiques au 1/50000 (révisées en 1950) de la zone d'étude, sont le résultat d'un reboisement qui a débuté en 1903. En effet, c'est grâce à « l'article I » du code forestier que l'action de reboisement a connu une évolution remarquable (EL HAMROUNI A., 1985) entre 1904 et 1920. Le couvert forestier de Jebel Ennadhour et de Jebel Eddmina a été planté au début du XX^{ème} siècle afin de fixer le sable provenant depuis les rives septentrionales de Raf Raf (OUESLATI A., 2004).

Une vague de reboisement a commencé depuis 1964 (BEN SALEM M., 1996), par l'implantation d'espèces très adaptées aux conditions générales du milieu, et qui présentent des capacités de production de bois assez élevées (tel que l'Eucalyptus). Les espèces implantées jusqu'en 1982, sont essentiellement :

- Le Pin Pignon à Jebel Ennadhour.
- Le Pin d'Alep à Jebel Es-Sakkak.
- L'Eucalyptus à Jebel Ennahli.

Au cours de la période 1982-2007, le couvert forestier s'est multiplié encore suite au reboisement de superficies importantes à Jebel El Baouala, à Jebel Maïana et Jebel Ammar

par le Pin d'Alep et l'implantation de l'Eucalyptus sur les bordures de oued Mejerda et quelques autres cours d'eau.

En général, l'étude des éléments naturels nous permet de constater une richesse des ressources écologiques et une fragilité des écosystèmes dans le delta de Mejerda. Afin de comprendre l'intervention de l'homme et son impact sur la dynamique de l'occupation-utilisation du sol dans ces milieux, il est intéressant d'approfondir une méthodologie de travail.

Chapitre 3 :

**APPROCHE METHODOLOGIQUE,
POUR L'ETUDE DES CHANGEMENTS
DE L'OCCUPATION-UTILISATION DU SOL
ET LA SEGMENTATION DU DELTA DE MEJERDA**

Les techniques de la télédétection et des systèmes d'informations géographiques ont été utilisées depuis les années « 90 », pour cartographier les dynamiques et fournir un outil d'aide à la décision surtout en matière d'aménagement du territoire. Dans ce chapitre nous proposons de présenter une approche méthodologique basée sur le choix de plusieurs sources de données (images satellitaires, extraits Google Earth ©, photographies aériennes, cartes topographiques, PAU, PAR... à dates différentes et à différentes échelles) pour la détection des changements et pour l'établissement de la carte d'occupation-utilisation du sol.

Les problèmes méthodologiques soulevés, sont, d'une part, l'harmonisation des données hétérogènes selon le même référentiel géographique (Lambert Nord Tunisie), et d'autre part, la généralisation cartographique d'une information énorme. Cela est en fonction de l'échelle souhaitée ou adoptée pour l'établissement de la carte d'occupation-utilisation du sol (la question de l'échelle adoptée sera traitée dans la troisième partie de ce travail).

1- La télédétection : Apports et limites.

1.1- Les données images :

Fournies par l'Ecole Normale Supérieure de Paris (ENS), dans le cadre du projet CMCU (Comité Mixte de Coopération Universitaire) N° 03GO203⁽²⁾ et après l'acceptation du dossier « ISIS » permettant l'obtention de scènes Spot à tarif préférentiel recherche, deux images ont été utilisées, l'une prise au printemps (09-04-1988), l'autre en hiver (09-12-1999). La seconde issue de SPOT 4, se constitue de quatre canaux, dont le canal 4 VEGETATION est très utile pour l'étude et le suivi de la couverture végétale. Ces deux scènes ont été sélectionnées en fonction de leur faible taux d'enneuagement.

Une image Spot 4 (2002) a été fournie par l'unité de recherche « Géomatique des Géosystèmes » (02/UR/10-01). La zone délimitée par cette image ne couvre pas la partie ouest du delta de Mejerda, soit 1/3 de la zone d'étude. Pour cela nous avons utilisé cette dernière, essentiellement pour la photo-interprétation et la caractérisation de l'occupation du sol des zones littorales. Le but des scènes 1988 et 1999 est alors l'évaluation de la dynamique de recouvrement et d'exploitation du sol quoi qu'elle soit progressive, régressive ou stable.

²: Projet relatif à l'étude (à long terme) de l'écosystème du complexe lagunaire de Ghar El Melh et qui a impliqué plusieurs organismes notamment la Faculté des Lettres, des Arts et des Humanités de la Manouba, le laboratoire Géomer de Brest, l'Université de Paris 8, l'ENS de Paris.

Le choix des images :

Le choix des images est en fonction des critères suivant :

- L'année d'acquisition (le plus grand écart temporel entre les images retenues).
- La saison d'acquisition (idéalement le passage d'une saison à une autre).
- L'heure d'acquisition (le plus possible la même).
- Le champ au sol de l'image (l'ensemble du delta).
- La nébulosité (minimale).

Nous avons estimé que les images suivantes combinent au mieux ces critères.

Tableau n°3 : Caractéristiques techniques et géographiques des images retenues.

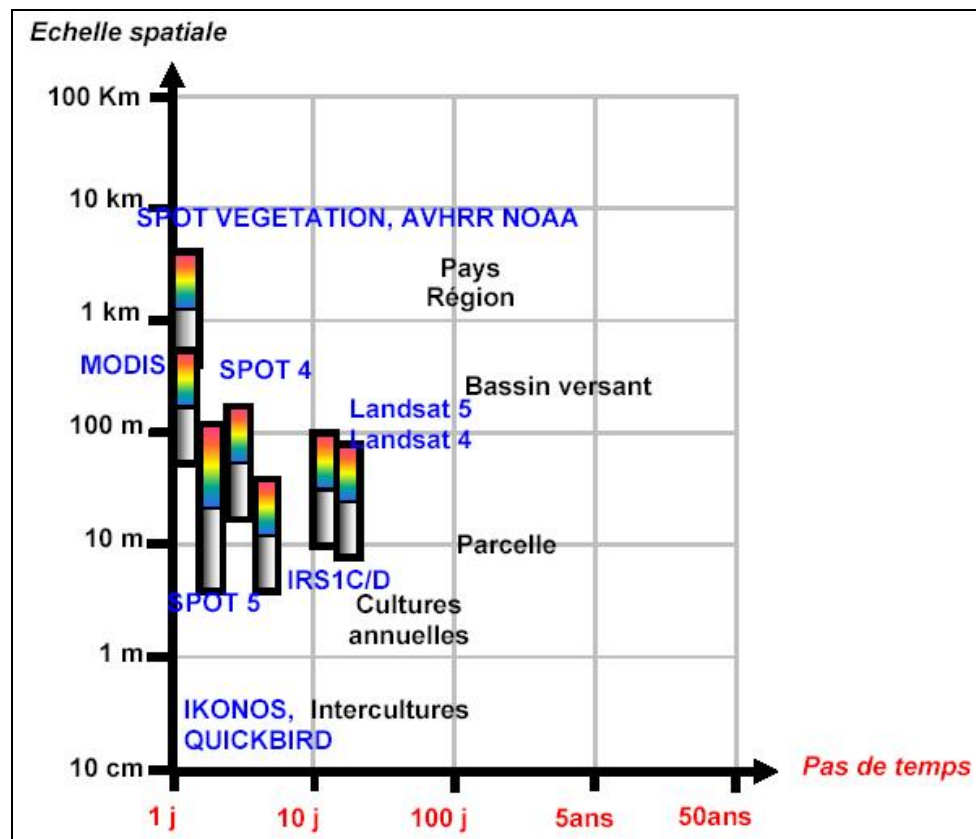
	Satellite	Date	Mode spectral	Résolution		Centre de la scène
		Heure		finale	Nébulosité	
Image 1	Spot 1	09-04-1988	multi-bandes	20m	Faible	X : 515232
		10 :16 :13		20m		Y : 412812
Image 2	Spot 4	09-12-1999	multi-bandes	20m	Faible	X : 517718
		09 :57 :54		20m		Y : 401624
Image 3	Spot 4	15-12-2002	multi-bandes	20m	Faible	X : 516226
		10 :23 :57		20m		Y : 404110

Le suivi de l'occupation et l'utilisation du sol par télédétection : La question de la résolution et de l'échelle

La diversité des échelles d'analyse offertes par les capteurs permet aujourd'hui d'identifier et de suivre plus ou moins finement l'occupation du sol. Le passage d'une échelle à une autre reste cependant très complexe de par la nature même des données. Le suivi du changement de l'occupation des sols est effectué de plus en plus souvent à partir de données de télédétection. Des images de type NOAA-AVHRR ou SPOT VEGETATION, d'une précision kilométrique, et plus récemment des images de moyenne résolution de type MODIS, dont la résolution spatiale peut atteindre 250 mètres, sont utilisées afin de réaliser des cartographies à l'échelle régionale. Elles permettent au mieux de déterminer des îlots parcellaires sans couvert végétal, dont les dynamiques spatio-temporelles doivent être validées par des études effectuées à une échelle plus fine. Les données à haute résolution de type LANDSAT/TM, SPOT/XS ou RADAR, d'une précision décimétrique, permettent

ainsi de réaliser des cartographies de l'occupation des sols à l'échelle de la parcelle, l'analyse des changements étant produite à l'échelle du bassin versant (HUBERT-MOY L. et al., 2001 ; DEGRANDI G.F. et al, 2000). A cette échelle plus locale, correspondant à des bassins versants dont la superficie varie en général d'une dizaine de km² à plusieurs centaines de km², les images permettent de réaliser, à l'aide de données d'origine diverses (socio-économiques, fonctionnement physique du milieu...), des analyses multi-temporelles des changements observés.

L'illustration suivante (ill. n°26), montre les différentes échelles spatio-temporelles d'analyse de l'évolution de l'occupation et de l'utilisation des sols par télédétection.



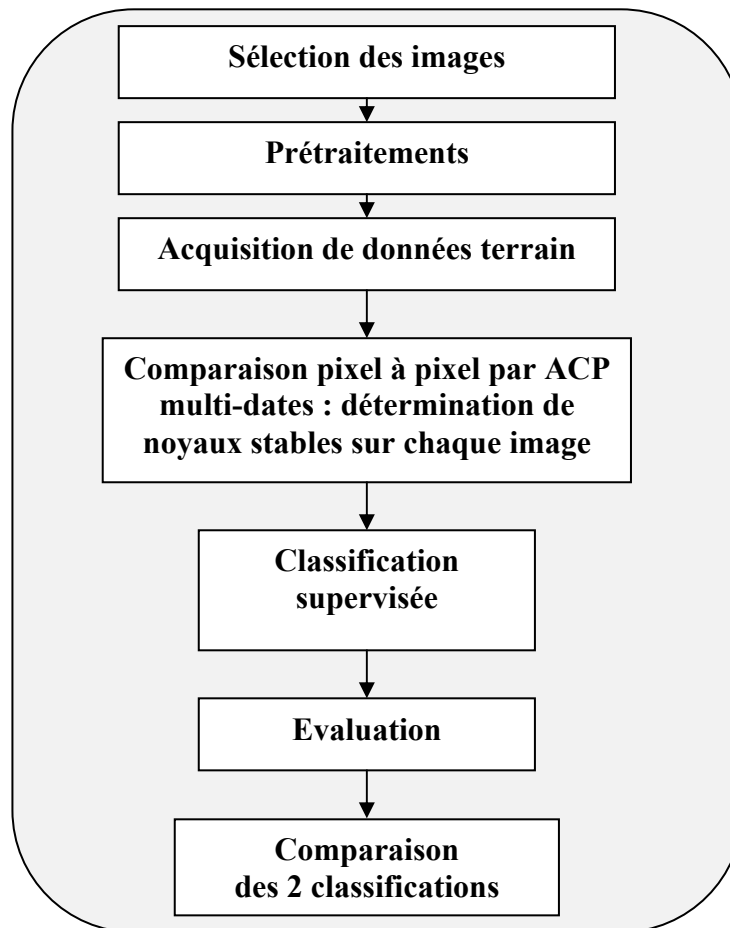
ill. n°26 : Représentation schématique des échelles de temps et d'espaces auxquels les modes d'occupation et d'utilisation des sols sont étudiés par la télédétection (d'après HUBERT-MOY L et al., 2001)

Présentation synthétique de l'itinéraire technique :

Comme nous l'avons vu précédemment (introduction générale), la télédétection des changements peut se faire selon deux techniques : comparaison pixel à pixel ou comparaison des classifications (LAGABRIELLE E., 2003). La technique de détection des changements pixel à pixel s'est révélée très adaptée pour détecter tous les changements d'occupation du sol dans le delta de Mejerda en raison de, l'homogénéité des images (la dimension des pixels est égale à 20 m) et la diversité des modes d'occupation et d'utilisation

des sols qu'elle affecte. Cependant, cette méthode a été utilisée avec succès pour détecter l'extension de l'espace urbain et périurbain entre 1988 et 1999 (2^{ème} partie).

Nous avons finalement mis en œuvre une procédure technique combinant détection des changements pixel à pixel (la méthode ACP multi-dates) et comparaison des classifications. La chaîne de traitement simplifiée est présentée schématiquement ci-après.

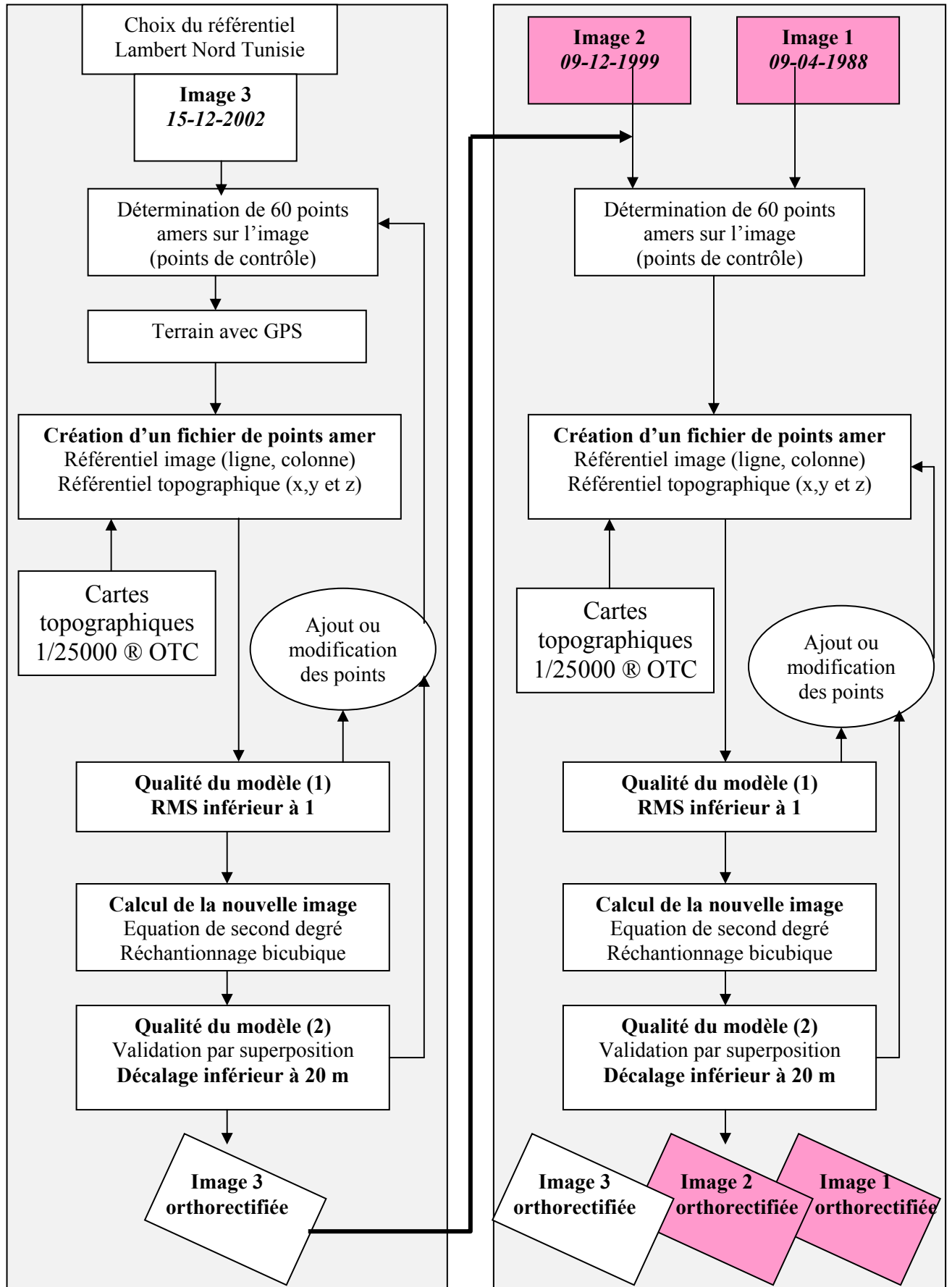


ill. n°27 : Schéma simplifié de la chaîne de traitement des images.

1.2- Les prétraitements :

Correction géométrique des images satellitaires :

La qualité des corrections géométriques des images est essentielle en télédétection des changements. Ces corrections permettent la comparaison des scènes positionnées dans un même référentiel géographique (Lambert Nord Tunisie), ainsi que leur superposition à la base de données ortho-photos ou à d'autres sources de données (notamment vectorielles).



ill. n° 28 : Modèle utilisé pour la correction géométrique des images (inspiré du modèle de BANCAREL S., 2002)

L'image 2002 a été recalée (annexe I, ill. n°1) à partir des cartes topographiques 1/25000 @OTC géoréférencées et à partir d'un fichier de 60 points amers relevés sur terrain à l'aide d'un GPS. Ces points sont fiables et facilement repérables, comme les carrefours, les ponts, les berges ou les lisières de forêt...

Les images de 1999, de 1988 ont été géoréférencées (annexe I, ill. n°2 et n°3) par rapport à cette première image (choix de 60 points amers communs aux trois images : géoréférencement image à image). Pour chaque image, le calcul a été effectué selon une équation de second degré (*RST only*). Pour le calcul de la valeur des pixels, nous avons choisi d'effectuer une interpolation bicubique (BANCAREL S., 2002). Ce mode d'interpolation a été effectué en fonction de l'équation de plus proche voisin suite à une inspection visuelle réalisée lors de la phase de classification texturale. La technique par interpolation bicubique modifie le compte numérique de certains pixels mais cet effet est compensé par la technique de classification mise en œuvre (maximum de vraisemblance).

Le contrôle de la validité des images géoréférencées, s'est fait par l'estimation de l'erreur standard, RMS (*Root Mean Square*). Le RMS n'étant pas un indicateur totalement fiable. La validation des corrections géométriques a été effectuée visuellement par superposition des images. Le seuil retenu pour cette étude est de moins de 1 pixel (ill. n°28), valeur minimale préconisée en détection des changements (BANCAREL S., 2002).

Corrections atmosphériques des images satellitaires :

Les corrections atmosphériques sont indispensables dès que les traitements des images satellites ont pour objectif :

- D'accéder à des valeurs physiques de réflectance de surface ;
- D'effectuer des comparaisons multi-dates entre des images provenant du même capteur ou de satellites différents ;
- D'assurer la reproductibilité de méthodes d'identification ou de classification de surface, sans devoir reprendre l'analyse d'échantillons pris sur l'image à traiter (KERGOMARD C, 1990).

La diffusion, l'absorption et la réfraction sont les trois principales sources de dégradation du signal provenant de l'atmosphère. Il est possible de corriger partiellement ces effets à partir de modèles de corrections atmosphériques. Cependant il faut noter que ces dernières restent encore approximatives car elles reposent sur des hypothèses simplificatrices. Ainsi, l'usage du logiciel « 5S », (Simulation du Signal Satellite dans le

Spectre Solaire) conduit à une évaluation des effets de l'atmosphère sur l'image traitée plutôt qu'à une correction effective. Cependant, l'objectif de cette étude est de comparer des scènes prises par les mêmes capteurs mais à des dates différentes. Il est indispensable que toutes les scènes soient normalisées pour que les données soient comparables. Nous avons donc décidé d'appliquer le Modèle « 5S », en raison de sa relative simplicité d'application et de sa disponibilité. Des informations jugées utiles concernant les conditions climatiques lors des dates de prise de vue des images ont été communiquées par le service météo (Les étapes des corrections atmosphériques qui ont été appliquées sur les images sont présentées dans l'annexe I, ill. n°4).

L'amélioration du contraste des images satellitaires : Le stretching, une méthode parmi plusieurs.

Cette technique facilite l'interprétation des images satellitaires, car elle améliore leur qualité visuelle (voir l'exemple de stretching de l'image 1999, annexe I, ill n°5, n°6, n°7 et n°8). En effet, il consiste en une transformation linéaire ou non de l'amplitude du signal de chacun des pixels d'une image pour que l'ensemble des amplitudes occupe plus efficacement l'échelle de gris disponible (RABIA M.C., 1998).

1.3- Acquisition de données terrain :

L'acquisition de données de terrain est nécessaire pour réaliser une classification supervisée des images de télédétection et pour affiner notre appréhension des modes d'occupation du sol. La campagne de terrain s'est déroulée en plusieurs phases du 1^{er} mars 2007 au 15 avril 2008.

Deux objectifs étaient poursuivis :

- Détermination des zones d'apprentissage ou zones tests (ill. n°29)
- Une prise de contact avec le terrain : connaissance des modes d'occupation des sols et des pratiques culturales, établissement de la nomenclature.
- Détermination des coordonnées des points amers.

Près de 1000 photos numériques ont été prises. Certains d'entre-elles ont été associées en panorama à l'aide du logiciel « **Photo Shop CS2** ». L'objectif d'une telle base de données photographique était de disposer d'un référentiel visuel commun pour l'établissement de la nomenclature et l'implémentation des parcelles d'apprentissage de la classification (exemples ; photos n°3, 4, 5 et 6).



Photo n°3 : Mosaïque entre l'oléiculture et les cultures en irrigués dans les environs de barrage Laroussia.

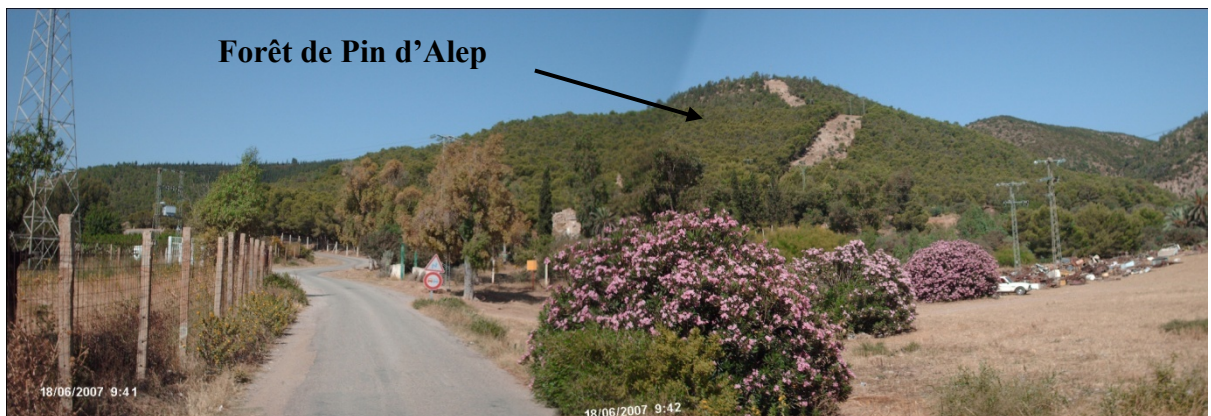


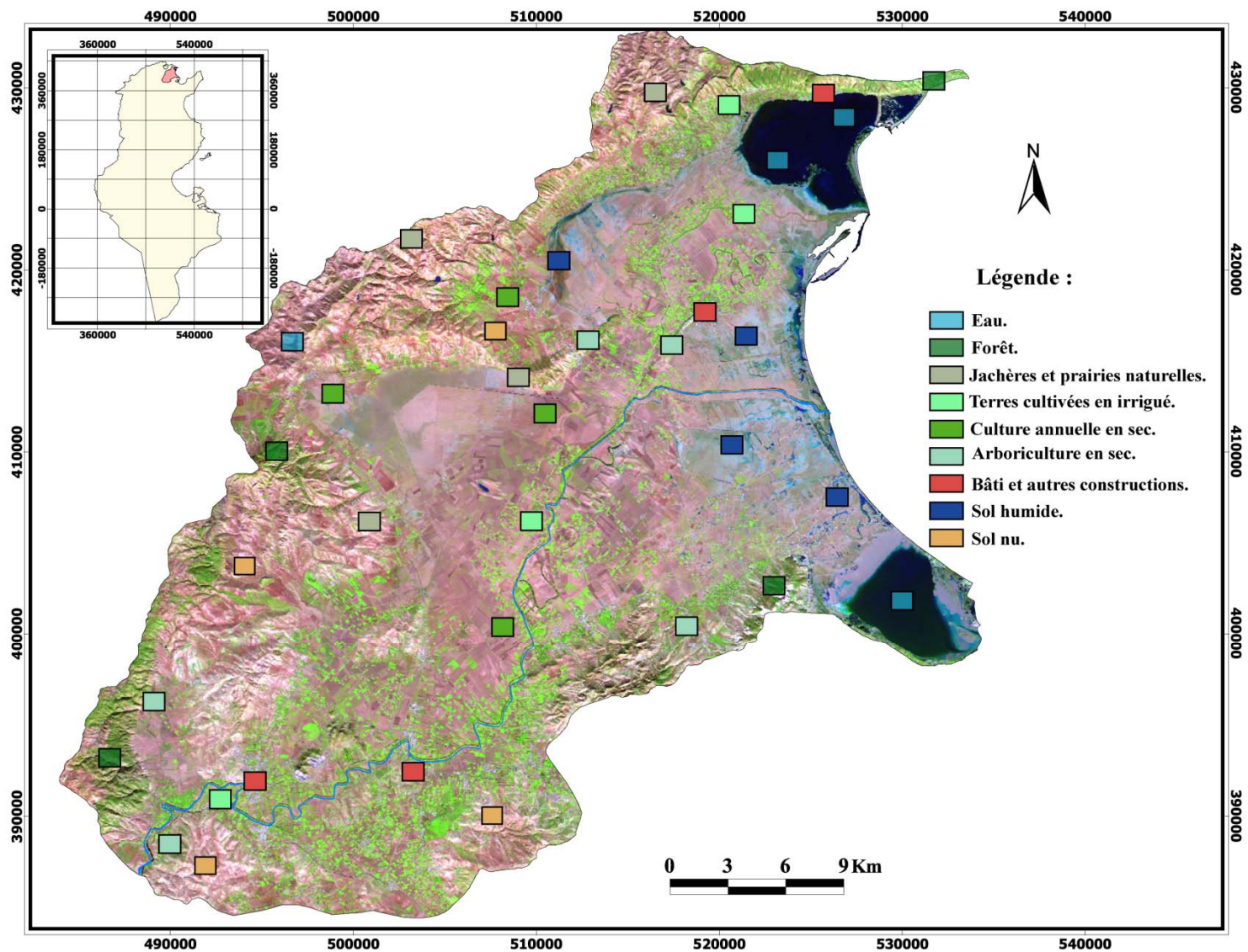
Photo n°4 : Forêt de Pin d'Alep à Jebel Laroussia, (Ouest de Tebourba).



Photo n°5 : L'émissaire de henchir Tobias au sud Kalaât Landalous, Constitue le lit actuel d'oued Mejerda.



Photo n°6 : La lagune de Ghar El Melh et ses environs, un exemple de zone humide littorale.



ill. n°29 : Localisation des zones « teste » pour l'établissement de la classification supervisée (image Spot/XS de 1999, ISIS-CNES©)
 (Les zones tests choisies pour l'image de 1988, ont été modifiées légèrement en fonction du changement de l'état phénologique de la végétation).

1.4- Tentative de détection des changements par ACP multi-dates :

L'analyse en composantes principales est une technique d'analyse multi-variée qui sert, en télédétection à réduire le nombre de composantes spectrales. Cette méthode est souvent utilisée en détection des changements (MOISON Y. et al., 1999 ; SINGH A. et HARRISON A., 1985). L'ACP a été appliqué à différentes images canal par canal. L'intérêt de cette méthode est de concentrer l'information concernant les changements sur certaines composantes. La technique de l'ACP est presque similaire à celle de « corrélation-décorrélation » entre les bandes. A titre d'exemple, on a remarqué qu'il y a une forte corrélation entre les bandes XS1 et XS3 de l'image Spot de 1988, alors qu'il y a une décorrélation entre les bandes XS1 et XS2 de la même image. Cela c'est traduit encore par les composantes de l'ACP (annexe I, ill. n°9, n°10 et n°11; tableau n°1 et n°2). Le maximum d'information figure dans l'ACP1 (92.73%) et l'ACP2 (6.68 %).

Chaque composante de l'ACP permettra ainsi de cartographier un ou plusieurs types de changements par seuillage des comptes numériques (LAGABRIELLE E., 2003). La figure suivante illustre bien le principe de soustraction des composantes de l'ACP. Elle représente la distribution des pixels dans l'espace tridimensionnel des axes résultant de l'ACP (ACP1, ACP2 et ACP3) sur la différence des canaux des deux images (ill. n°30).

La composition des composantes principales (annexe I, de l'illustration n°12 jusqu'à l'illustration n°19) utilisée pour notre étude est la suivante (ACP sur la différence d'images canal à canal : canaux Vert, Rouge et Proche Infrarouge de l'image 1999 – canaux Vert, Rouge et Proche Infrarouge de l'image 1988), (annexe I, tableau n°1 et n°2) :

$$\text{Composante 1} = \quad 0.011V_{dif} \quad 0.048 R_{dif} \quad - 0.018 PIR_{dif}$$

$$\text{Composante 2} = \quad -0.12 V_{dif} \quad -0.25 R_{dif} \quad 0.12 PIR_{dif}$$

$$\text{Composante 3} = \quad -0.082V_{dif} \quad 0.14 R_{dif} \quad -0.10 PIR_{dif}$$

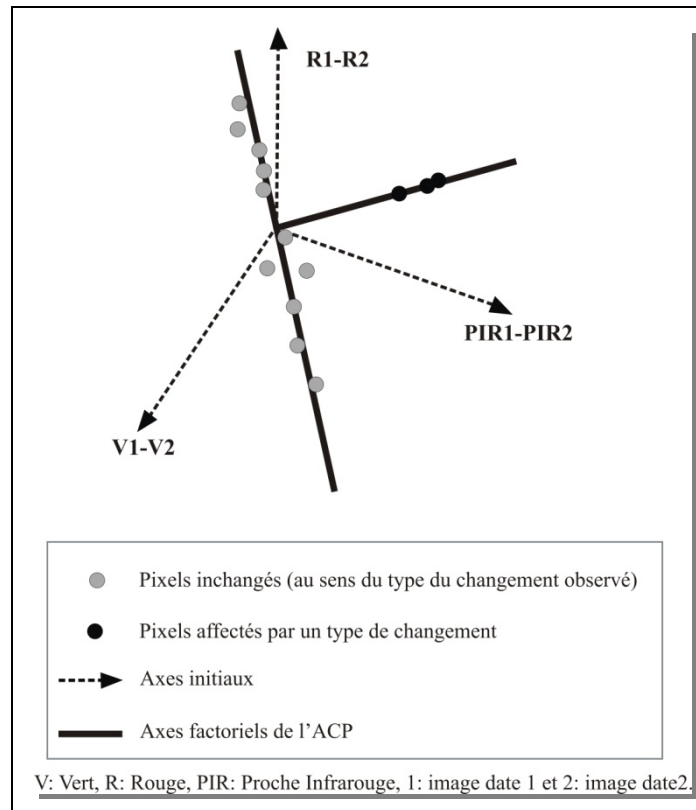
$$\text{Avec : } V_{dif} = V_{1999} - V_{1988}$$

$$R_{dif} = R_{1999} - R_{1988}$$

$$PIR_{dif} = PIR_{1999} - PIR_{1988}$$

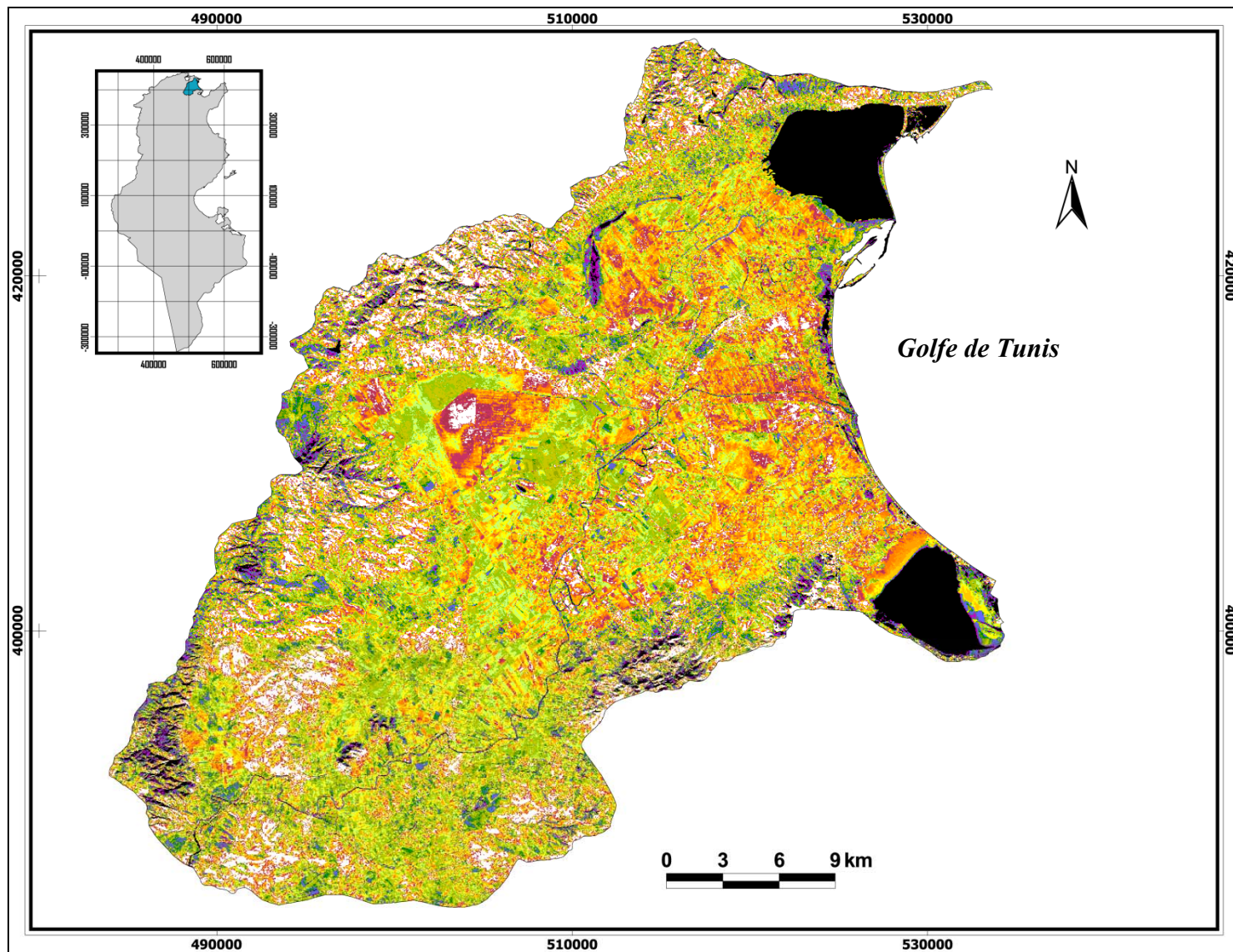
Nous avons constaté que la première composante traduit bien les gains de compte numérique (annexe I, tableau n°1 et n°2) liés surtout à l'apparition du bâti (en particulier, du fait de la pondération du facteur variation des canaux Vert et Rouge entre les deux dates

(0.011 et 0.048)). Nous avons également constaté que la seconde composante comportait les variations du couvert végétal (variation de l'activité photosynthétique et changement dans le mode cultural). En effet, la diversité de la nature des changements du couvert végétal ne nous a cependant pas permis d'établir une cartographie. Les changements observés durant les travaux de terrain étant à la fois intrinsèques (variation phénologique interannuelle) et extrinsèques (transaction d'un mode cultural à un autre par exemple).



ill. n°30 : Principe de l'ACP multi-dates pour la détection des changements (LAGABRIELLE E., 2003 : Document repris et modifié au niveau de dessin)

La technique de l'ACP sur la différence d'images multidate permet de détecter les changements sans pour autant permettre d'en identifier la nature (LAGABRIELLE E., 2003). Cependant, une cartographie des changements à partir d'une seule technique est impossible dans un contexte de diversité des modes d'occupation des sols et des changements qui les affectent. Toutefois, les résultats de cette expérimentation technique nous ont permis l'extraction d'un maximum d'informations à partir d'un nombre de bandes très réduit. Les néo-canaux, ont été alors combinés avec les bandes XS pour obtenir une composition colorée reflétant des résultats meilleurs, lors des classifications supervisées. (exemple réalisé à partir de l'image Spot/XS, ill. n°31).



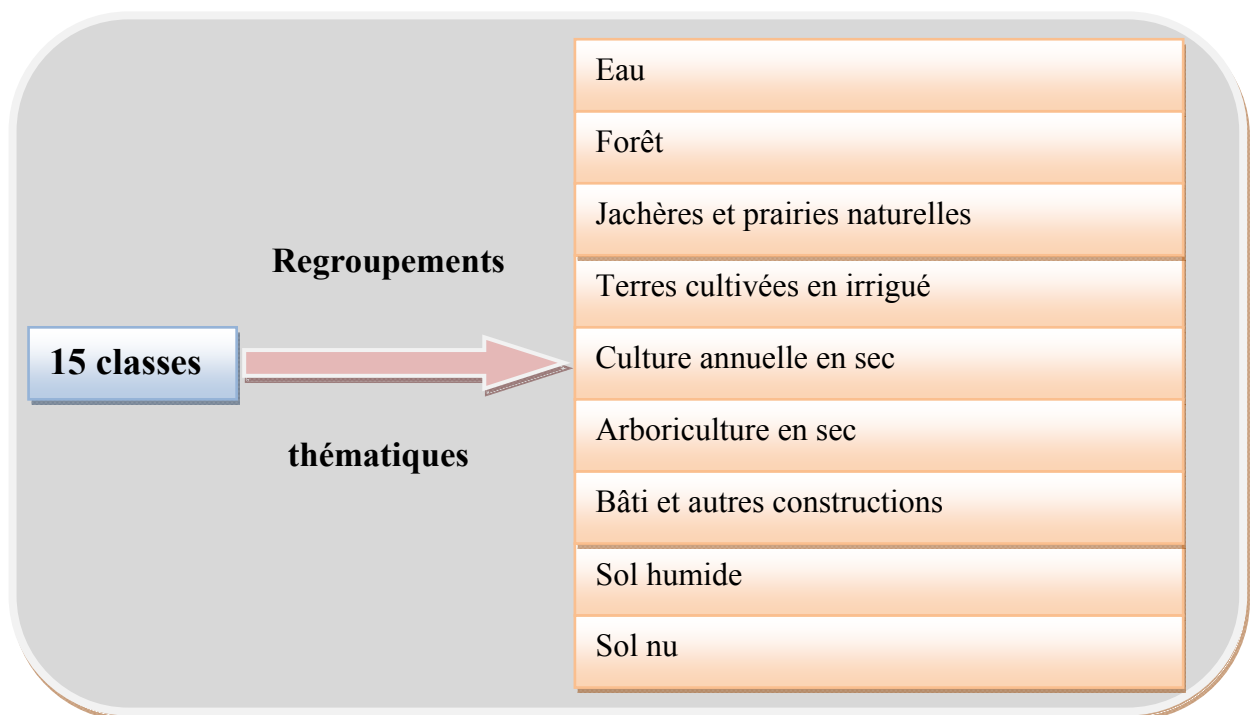
ill. n°31 : Composition colorée issue de la combinaison de ACP1 + ACP2 + XS1 de l'image Spot/XS de 1999 (ISIS-CNES).

1.5- Classification et comparaison d'images :

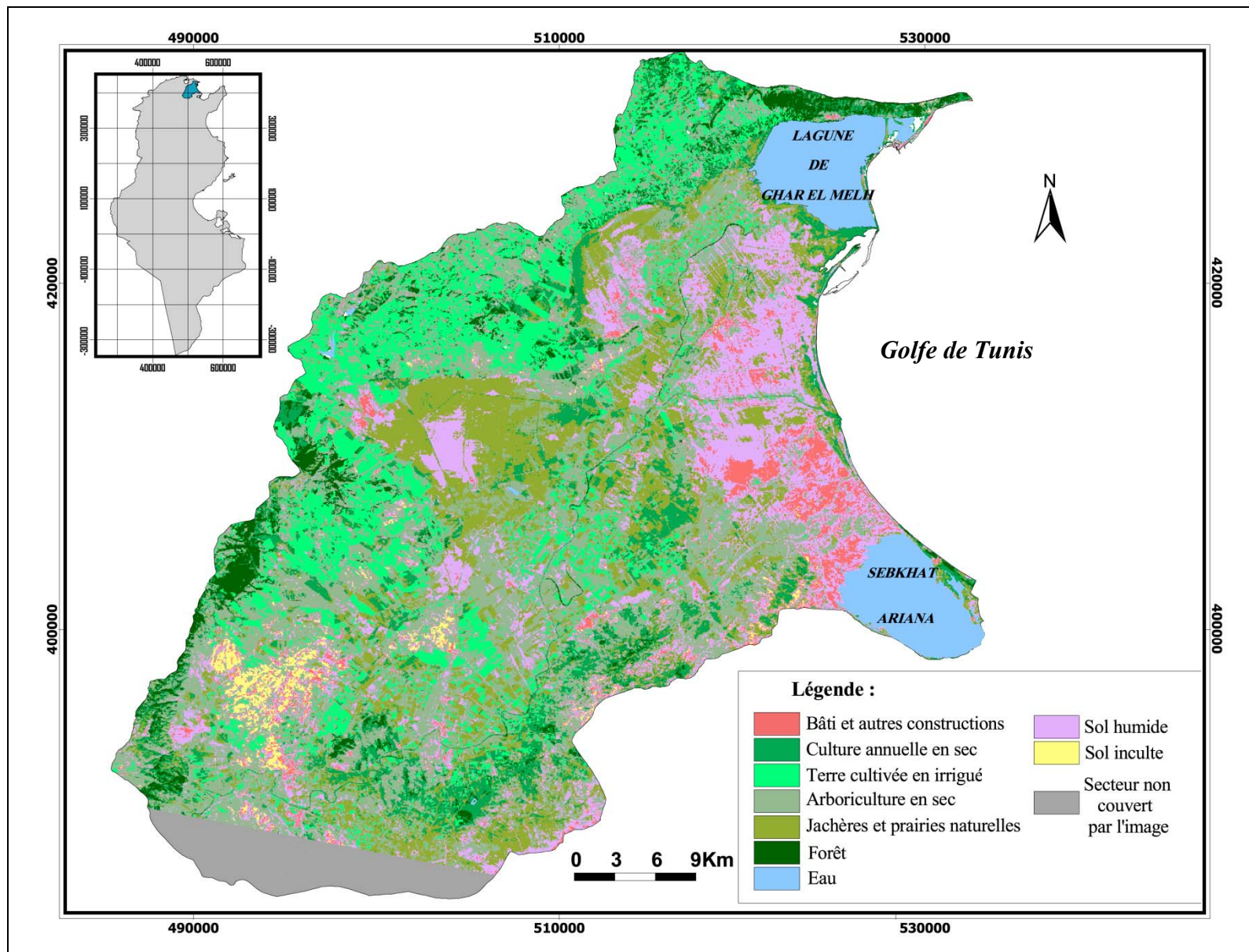
Le principe : La technique de la comparaison de classifications d'images permet de localiser et d'identifier les changements d'occupation du sol. Une méthode a ainsi été appliquée à chaque image en vue de les comparer par la suite. La difficulté est de reproduire exactement la même classification sur chacune.

La méthode de classification supervisée utilisée pour cette étude est celle de « maximum de vraisemblance », (ill. n°33 et n°34). La connaissance de la zone d'étude est capitalisée et mise à profit pour déterminer l'appartenance de chaque pixel à une classe (ill. n°29). La classification supervisée a été effectuée sur les images géoréférencées dont le but est de superposer les couches d'informations ayant servi à la digitalisation des noyaux de classification.

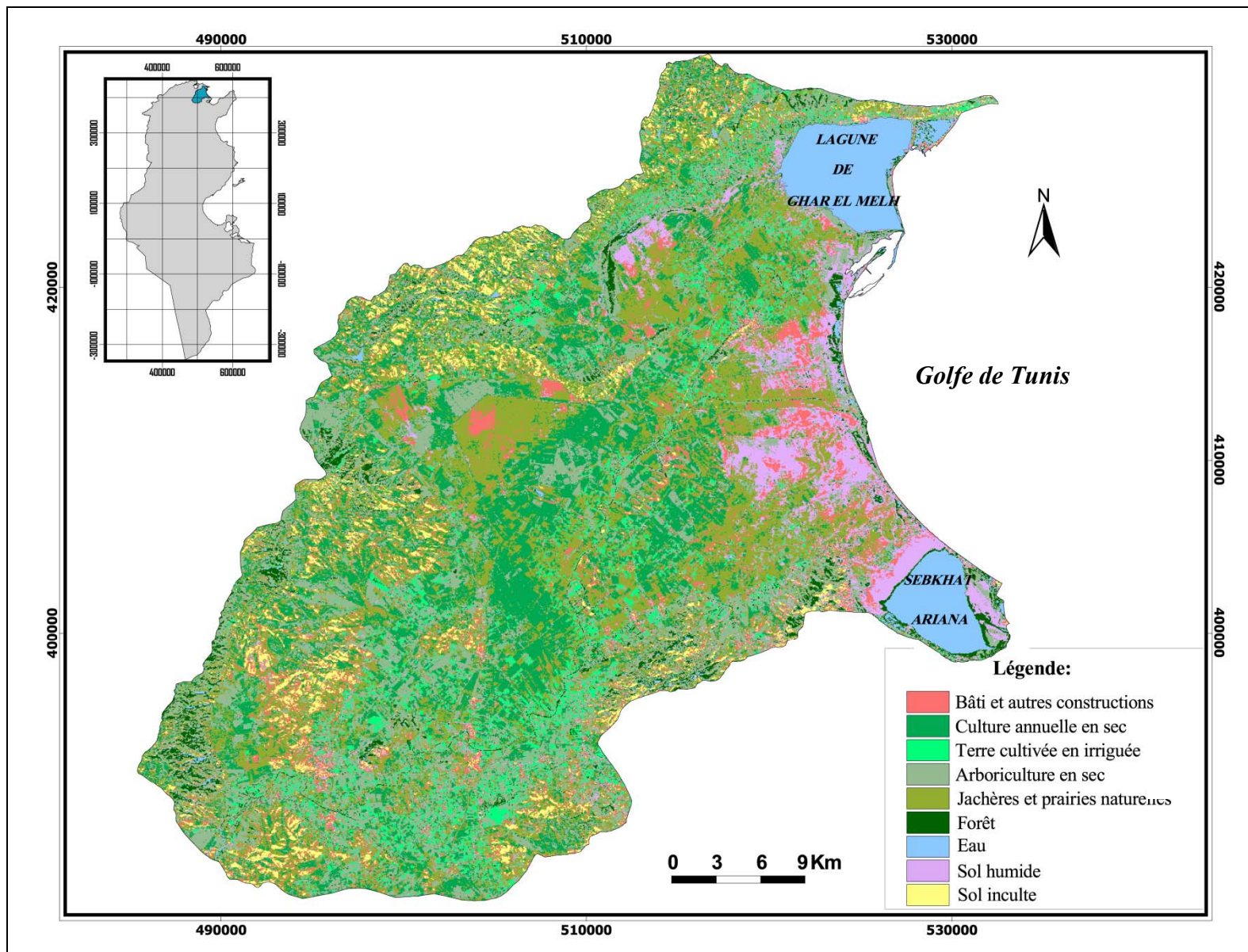
Le choix des classes : Quinze classes ont été définies pour la classification supervisée des deux images satellitaires. Ce grand nombre de classes nous a permis de limiter certaines confusions. En particulier, plusieurs types de forêts, surfaces en eau et sols ont été discriminés. Après synthèse, la classification texturale finale se compose de neuf groupes thématiques (ill. n°32) :



ill. n°32 : Nomenclature retenue après regroupements thématiques opérés sur la classification supervisée par « maximum de vraisemblance ».



ill. n°33 : Classification supervisée de l'image Spot (1988) selon la méthode de «maximum de vraisemblance». (ISIS-CNES).




ill. n°34 : Classification supervisée de l'image Spot (1999) selon la méthode de «maximum de vraisemblance». (ISIS-CNES).

L'évaluation de la qualité des classifications supervisées :

L'évaluation de la performance des classifications supervisées sur les images Spot/XS 1988 et 1999 a été effectuée visuellement en comparant les résultats avec d'autres documents, telles que les photographies aériennes (le cas des orthophotos 2000 et l'image 1999) ou des cartes topographiques, soit statistiquement, par les matrices de confusion (tableau n°4 et n°5). Cette dernière permet de vérifier si les pixels tests ont été affectés à la bonne classe de sortie, « c'est-à-dire que des pixels correspondant à une unité paysagère se retrouvent classés dans une classe représentative d'une autre unité paysagères » (ROBIN M., 2002).

Tableau n°4 : Matrice de confusion de la classification de l'image Spot/XS 1988


Sites de vérif. classification	Bâti et autres constructions	Culture annuelle en sec	Terre cultivée en irrigué	Arboriculture en sec	Jachères et prairies naturelles	Forêt	eau	Sol hum.	Sol nu	Erreur de déficit	Précision utilisateur
Bâti et autres constructions	24	0	0	0	0	0	0	2	2	28.9	71.1
Culture annuelle en sec	0	23	0	1	0	0	0	0	0	3	97
Terre cultivée en irrigué	0	0	20	0	0	0	0	0	0	19.08	80.52
Arboriculture en sec	0	0	0	27	0	0	0	0	1	11	89
Jachères et prairies naturelles	1	0	0	0	22	0	0	0	0	7.35	92.65
Forêt	0	0	2	0	0	21	0	2	0	4.39	95.61
eau	0	0	0	0	0	0	19	0	0	3.8	96.2
Sol hum.	4	0	0	0	0	4	0	23	0	11.6	88.4
Sol nu	4	0	0	1	0	0	0	0	20	8.66	91.44
Erreur de déficit	33.17	3.75	18.36	11.64	1.88	4.33	4	11	9.9		
Précision utilisateur	66.83	96.25	81.64	88.36	98.12	95.77	96	89	90.1		%

 Nombre des sites de vérifications.

 Confusions thématiques les plus remarquables révélées.

Tableau n°5 : Matrice de confusion de la classification de l'image Spot/XS 1999

Sites de vérif. / classification	Bâti et autres constructions	Culture annuelle en sec	Terre cultivée en irrigué	Arboriculture en sec	Jachères et prairies naturelles	Forêt	Eau	Sol hum.	Sol nu	Erreur de déficit	Précision utilisateur
Bâti et autres constructions	24	0	1	0	0	0	0	3	2	28.9	71.1
Culture annuelle en sec	1	23	0	1	0	0	0	3	0	7.6	92.4
Terre cultivée en irrigué	0	0	20	0	2	0	1	0	0	9.11	90.89
Arboriculture en sec	0	0	0	27	0	0	0	0	1	5.3	94.7
Jachères et prairies naturelles	0	0	3	0	22	0	0	0	0	6.4	93.6
Forêt	0	0	0	0	0	21	0	0	1	3.39	96.61
Eau	0	1	1	1	0	0	19	0	0	3.2	96.8
Sol hum.	5	4	0	0	0	0	0	23	0	14.7	85.3
Sol nu	2	0	1	0	0	0	0	0	20	7.5	92.5
Erreur de déficit	27.87	10.75	8.57	3.78	12.99	1.2	3	18	8.7		
Précision utilisateur	72.13	89.25	91.43	96.22	87.01	98.8	97	82	91.3		%

 Nombre des sites de vérifications.

 Confusions thématiques les plus remarquables révélées.

L'analyse de la matrice de confusion conduit en général à retenir les points essentiels qui mettent l'accent sur les difficultés méthodologiques rencontrés résultant :

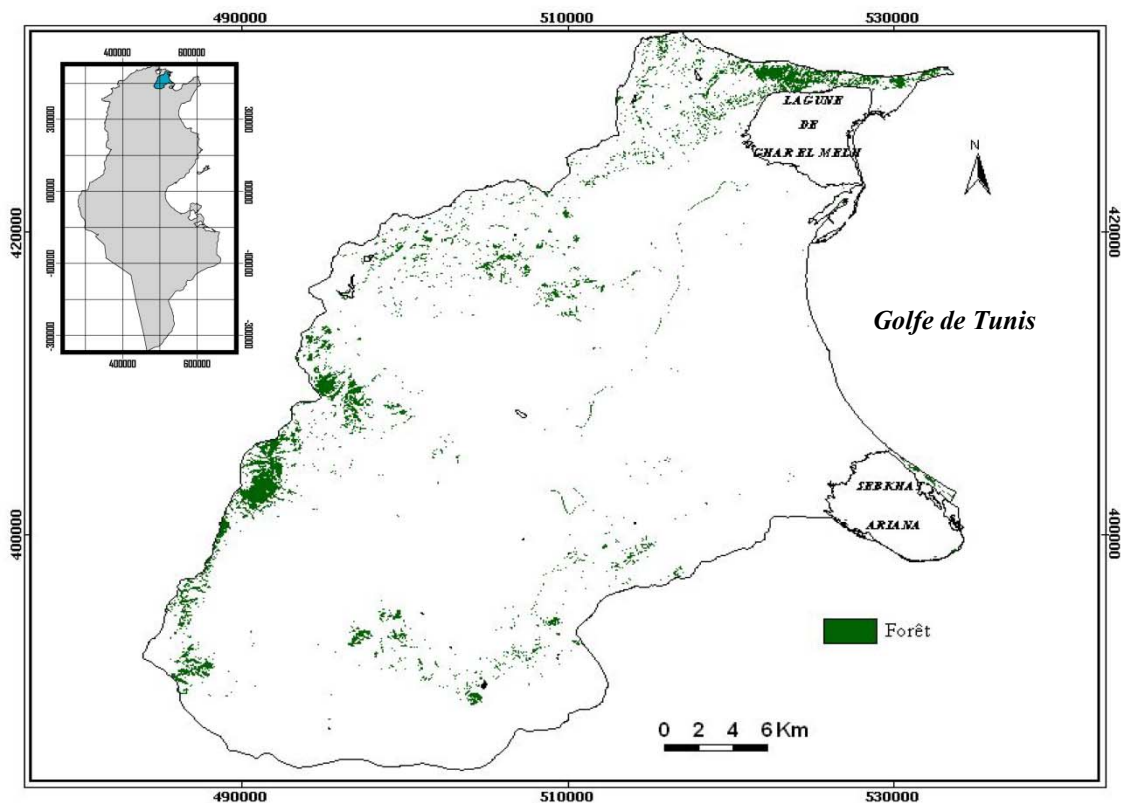
- d'une confusion spectrale engendrée par la proximité de la réponse spectrale de deux thèmes ; exemple de l'urbain, des sols nus et des zones sableuses, où l'on a noté les confusions les plus importantes (FRANCHOMME M., 2002).
- de l'imprécision géographique des zones tests, en particulier concernant les régions arboricoles.
- des lacunes au sein de nos parcelles d'entraînement.

La pertinence globale de la classification supervisée de l'image Spot/XS 1988, s'avère satisfaisante, puisqu'elle est égale à 91.23 % (nombre de pixels correctement classifiés / nombre total des pixels), donc l'approche méthodologique pour la classification de l'image (maximum de vraisemblance) peut être considérée comme globalement acceptable même s'il y a des erreurs d'affectation des pixels entre la classe de «bâti et autres constructions» et les classes «sol humide» et «sol nu». Une erreur est assez remarquable aussi sur l'image entre la classe «forêt» et la classe «sol humide».

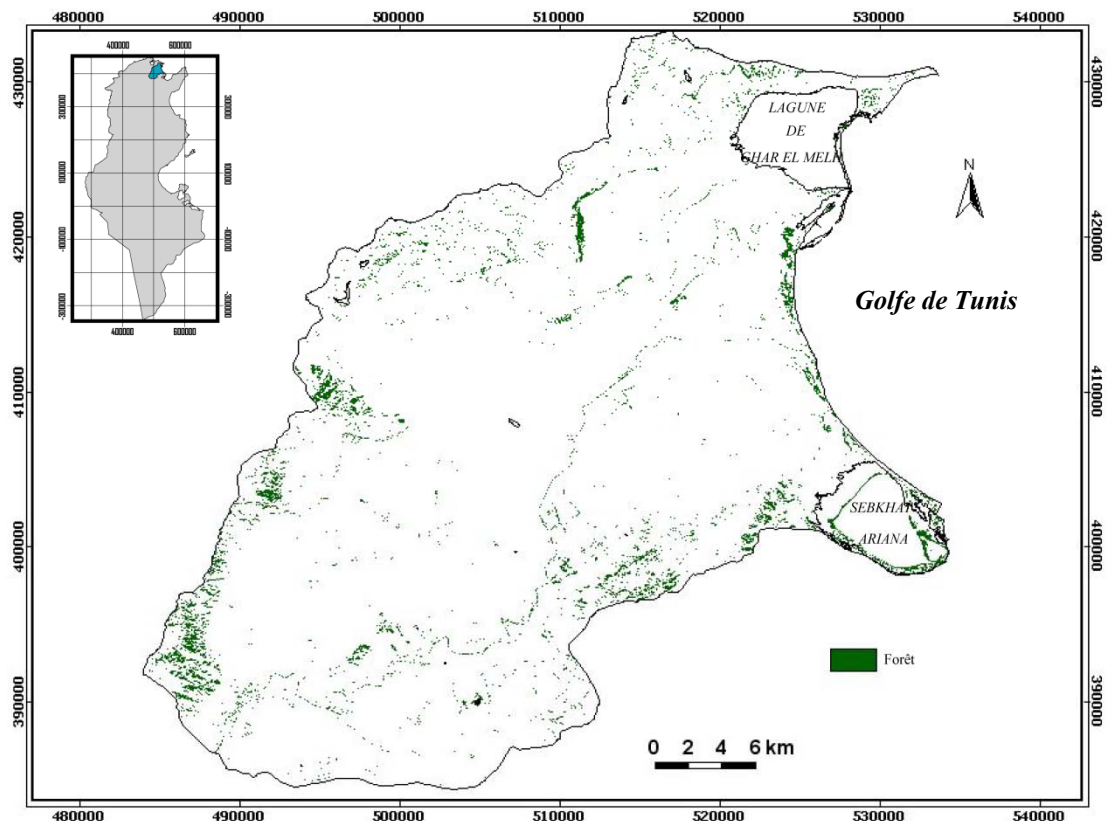
La précision globale de la classification supervisée de l'image Spot/XS 1999 est de l'ordre de 89.9 %. Une légère erreur affecte la classe «bâti et autres constructions» et les classes «sol humide» et «sol nu» et affecte celle de la «terre cultivée en irriguée» et la classe «jachères et prairies naturelles».

Les masques et la détection des changements :

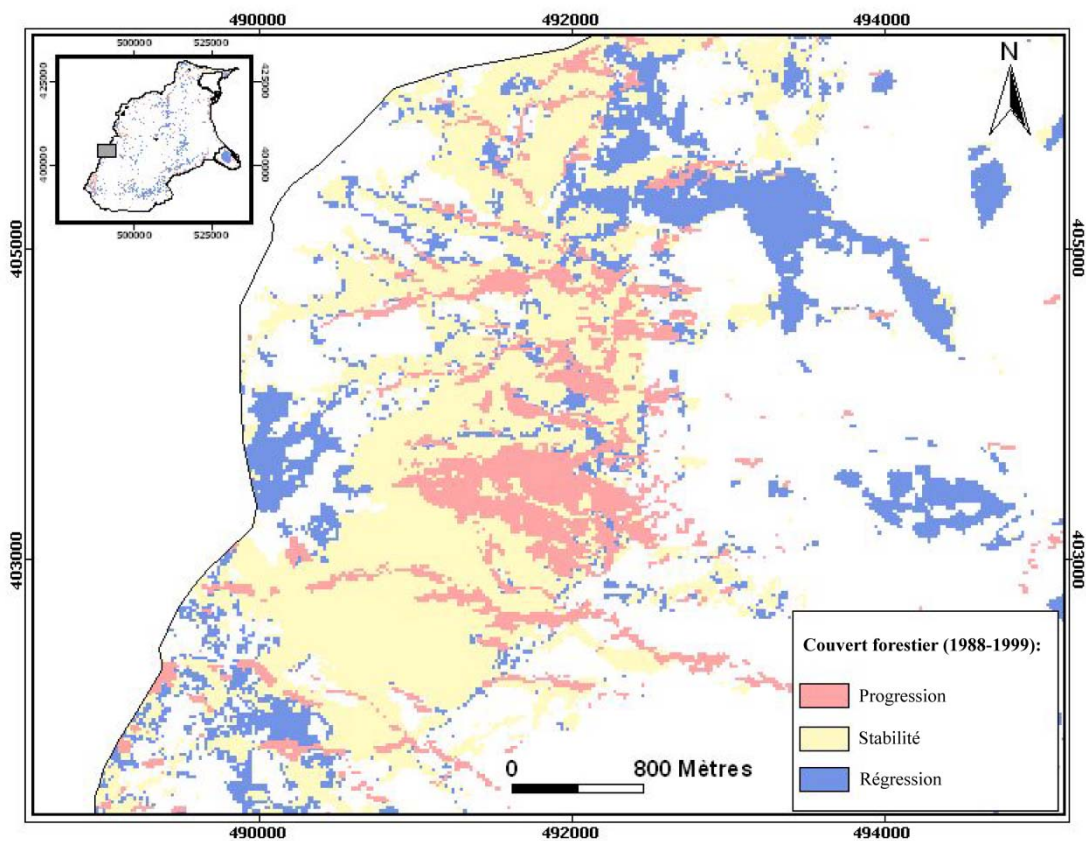
La détection des changements pour une classe thématique entre les deux dates (1988 et 1999) est possible grâce à l'utilisation des masques (ill. n°35 et n°36).



ill. n°35 : Visualisation de la classe «forêt» et masque des autres classes (image Spot/XS 1988, ISIS-CNES).



ill. n°36 : Visualisation de la classe «forêt» et masque des autres classes (image Spot/XS 1999, ISIS-CNES).



ill. n°37 : Détection de l'évolution du couvert forestier entre 1988 et 1999 (Images Spot/XS 1988 et 1999, ISIS-CNES).

En effet, cette technique consiste à affecter le code «1» pour la classe «forêt» et le code «0» pour les autres classes (bâti et autres constructions, culture annuelle en sec, jachères et prairies naturelles...) et cela à partir des deux classifications supervisées des images 1988 et 1999 (ill. n°33 et n°34).

L'étape suivante consiste à croiser les deux classes «forêt», résultantes des masques radiométriques avec l'extension «CROSSTAB» d'IDRISI. On a obtenu, trois cas de figures ; une évolution positive ou progression (couleur chaude), une évolution négative ou régression (couleur froide) et un état de stabilité ou non-changement pour la classe «forêt» (couleur jaune), (ill. n°37)

Limites de la télédétection :

L'apport des images satellitaires est sans doute potentiel pour la comparaison d'états de recouvrement des sols, la détection des changements et la réalisation de la carte d'occupation du sol. Le rôle de la télédétection pour fournir des données concernant l'utilisation du sol reste négligeable. En effet, la définition des classes concernant l'occupation du sol est basée sur l'état du couvert en général à un instant précis, sur une portion d'espace géographique. On retrouvera par exemple comme classe d'occupation du sol caractérisant un territoire, les classe «arbres», «bâti», «eau»...concernant les classes attribuées à l'utilisation du sol, celles-ci doivent fournir une information précise sur l'activité menée sur un espace géographique (CORGNE S., 2004). Les attributs appropriés pour définir l'utilisation du sol d'une portion d'un territoire rural seraient par exemple «olivier», «bâti résidentiel», «canal». Ainsi la télédétection valorise l'état de recouvrement du sol et les données exogènes (terrain, tableaux statistiques, rapports...), déduisent l'utilisation. Les deux approches apparaissent donc complémentaires et indissociables pour une analyse pertinente des dynamiques spatiales d'un espace géographique (CORGNE S., 2004).

L'image Spot/XS 2002, ne couvre que les 2/3 du delta de Mejerda. Elle est donc juste utilisée comme un document de photo-interprétation des zones littorales. Une lacune est également à signaler en ce qui concerne les dates des images Spot/XS 1988 (9 avril 1988) et 1999 (9 décembre 1999). Ce décalage ne permet en aucun cas l'analyse et la détection des changements surtout pour la végétation caducifoliée et cela en relation avec l'état phénologique. Les erreurs d'affectation des pixels au moment de la classification (tableau n°4 et n°5) représentent des lacunes de cet outil.

2- Les documents non-satellites :

2.1- Les extraits Google Earth © :

Les extraits Google Earth © constituent une opportunité pour la mise à jour de données antérieures (cartes topographiques, photographies aériennes et autres...). Ils sont utilisés pour la photo-interprétation des paysages du delta de Mejerda pour l'an 2007 (grâce à des extraits à l'échelle 1/5000, de très haute résolution spatiale THRS) et la caractérisation de l'état des sols pour l'an 2003 (avril 2003 ; suite aux pluies exceptionnelles de décembre-janvier 2003), grâce à des extraits de Spot/XS.

L'ensemble de ces extraits a été mosaïqué et calé à base du référentiel Lambert Nord Tunisie, afin d'assurer une meilleure superposition avec les autres types de données.

2.2- Les cartes et les plans d'aménagements :

Ces documents constituent un corpus de couche d'information qui s'avère d'un intérêt capital pour notre étude. Afin de construire une base de données multi-thèmes (voir liste des cartes et plans dans la bibliographie), ces documents ont été également mosaïqués et géoréférencés avec le logiciel « **Envi** », et par la suite, vectorisés avec le logiciel « **Arc View** ».

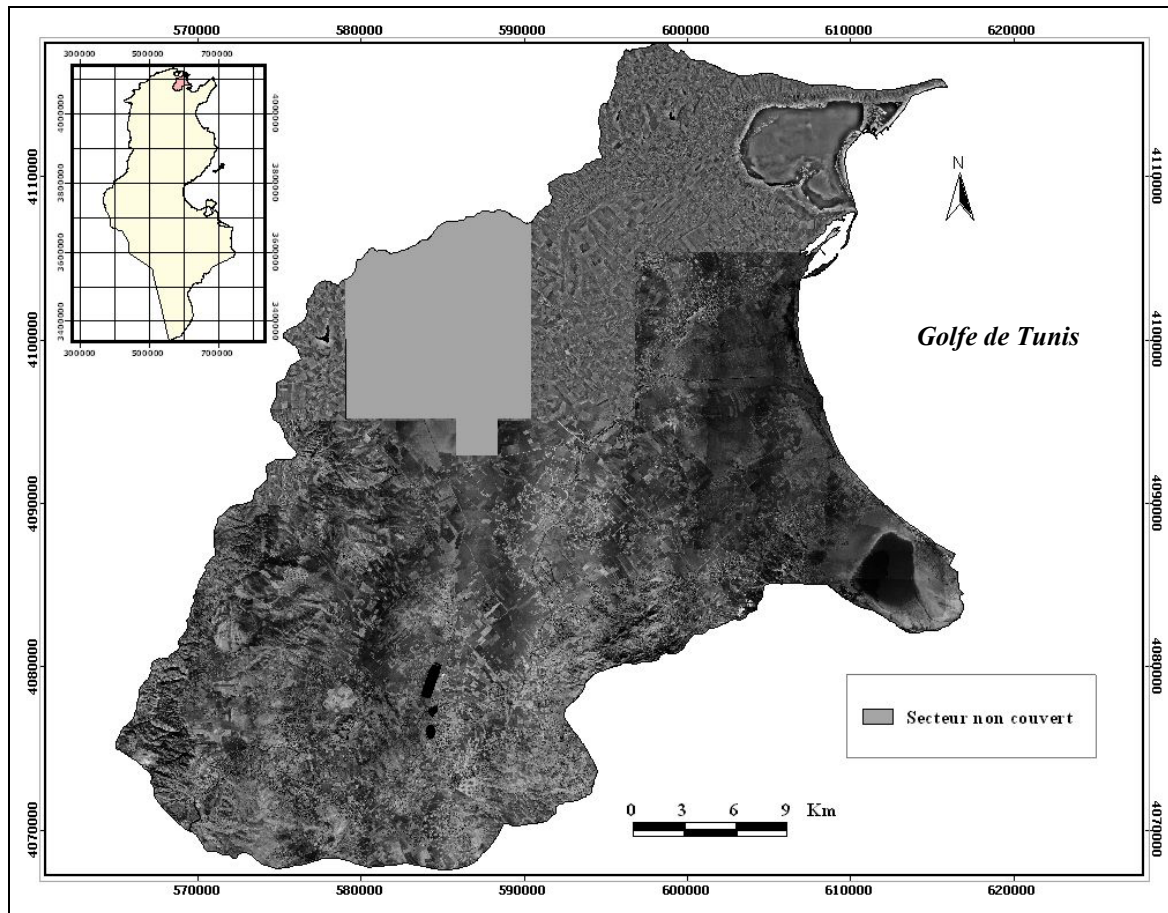
Nous disposons également de plusieurs autres couches vectorielles, notamment la base de données du projet « INFOTEL, 1999 », concernant l'occupation du sol (essentiellement forestière).

2.3- La photo-interprétation :

La photographie aérienne est le complément indispensable de l'image satellitaire. Nous disposons pour cette étude de quatre couvertures aériennes.

- Les ortho-photos 2000 © qui sont déjà traitées par le Centre Nationale de la Télédétection CNT (mosaïquage, géoréférencement et orthorectification), (ill. n°38).
- La couverture aérienne de 1974 (OTC) à l'échelle 1/25000 couvrant presque la totalité du delta (plus que 200 photos).
- Quelques photos couvrant la partie littorale du delta issues de la couverture aérienne 1962-1963 à l'échelle 1/12500.

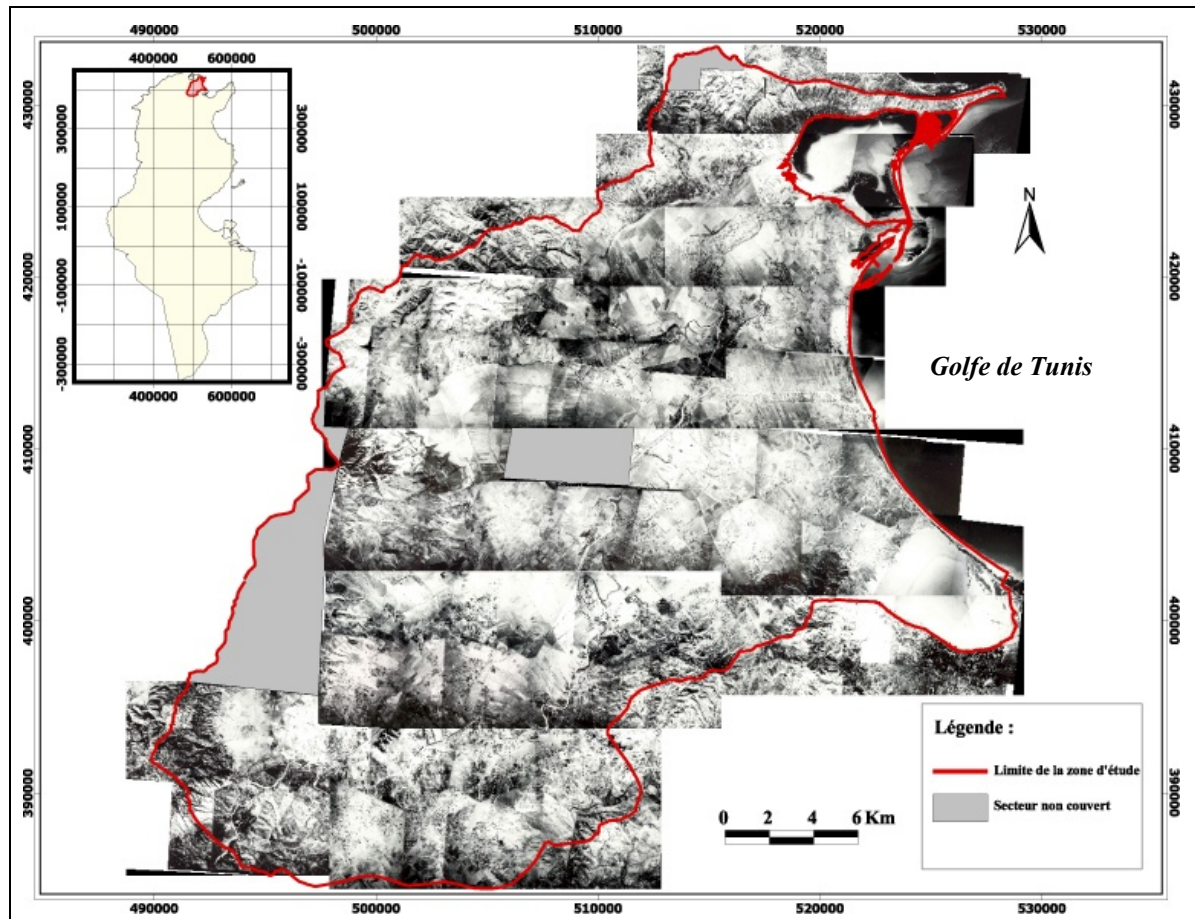
- Quelques photos couvrant la partie littorale du delta issues de la couverture aérienne 1948-1949 à l'échelle 1/25000.



ill. n°38 : La base de données ortho-photos 2000, traitée par le CNT.

L'ensemble des couvertures aériennes (sauf le cas des ortho-photos), a subi un stretching pour améliorer la qualité visuelle et a été mosaïqué et géoréférencé (exemple ; ill. n°39). Toutefois, les couvertures aériennes (sauf les ortho-photos 2000) renferment des distorsions inévitables, c'est la raison pour laquelle elles doivent être manipulées avec précaution (BEN SALEM M., 1996).

La photo-interprétation permet l'extraction des zones homogènes par leur texture, structure, tonalité ou organisation. Elle consiste à faire une délimitation pour les Zones à Egale Apparence (Z.E.A) et affecter une classe de couverture pour chacune. Ainsi la photo-interprétation constitue l'étape essentielle de caractérisation à la fois de recouvrement et d'utilisation des sols. Les informations bruitées seront complétées par les travaux de terrain.



ill. n°39 : Mosaïquage et géoréférencement de la couverture aérienne 1974
(Traitement personnel avec le logiciel Envi).

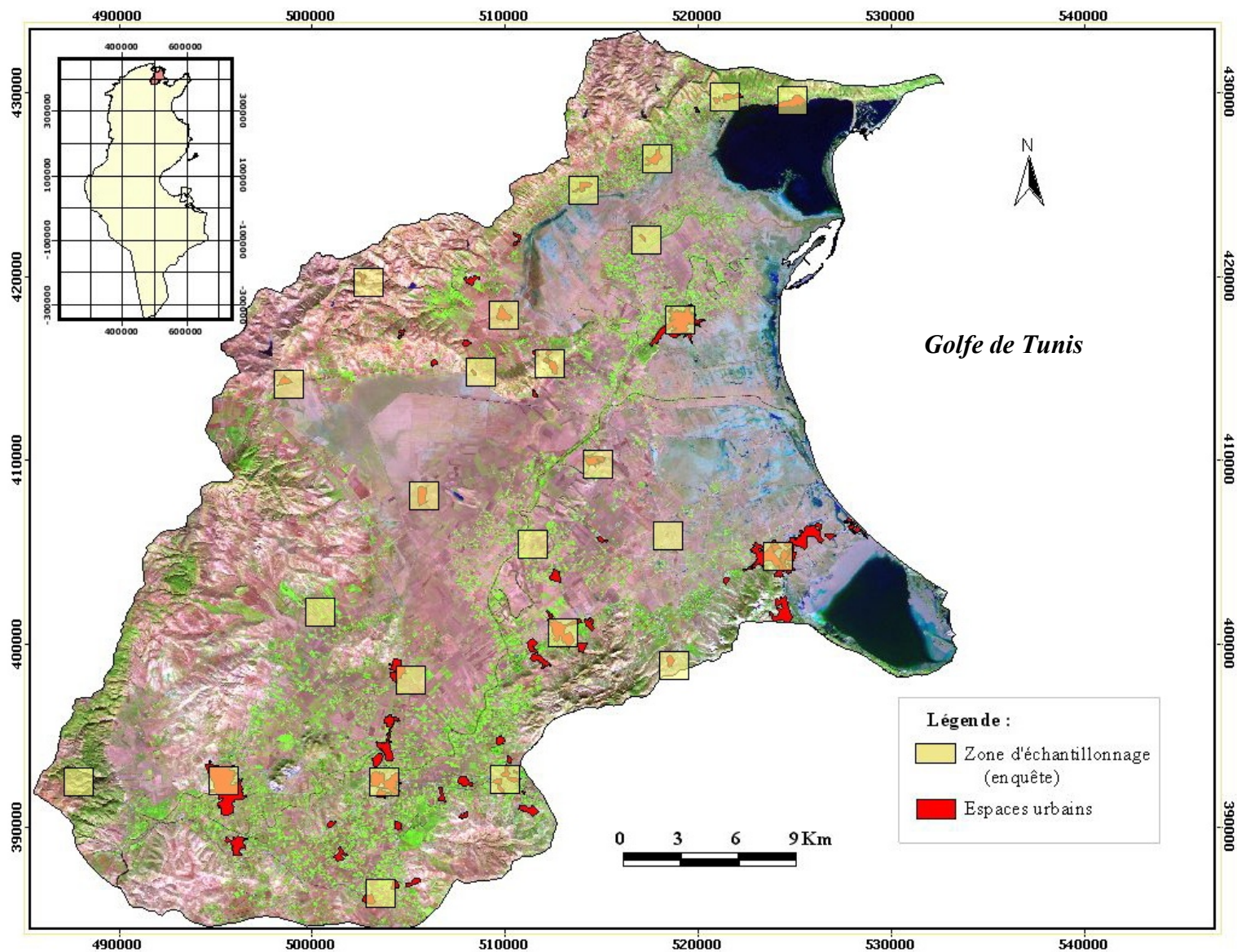
3- Les travaux de terrain :

729 questionnaires de l'enquête socioéconomique (annexe II) couvrant l'ensemble de la zone d'étude ont été réalisés, et cela par application de la méthode d'échantillonnage empirique, deux critères ont été retenus :

- Le site devait être représentatif au moins d'une classe thématique (culture, bâti...). (ill. n°40).
- Les exemplaires ont été réalisés sur un rayon de 1.5 km (au minimum) par rapport aux centres des zones d'échantillonnage choisies (ill. n°40), et cela pour assurer un maximum de données hétérogènes.

La préparation de l'enquête repose sur les points suivants :

- Caractéristiques sociodémographiques.
- Caractéristiques de l'habitation.



ill. n°40 : Zones d'échantillonnage dans la zone d'étude (enquête socioéconomique)
(Le fond constitue l'image Spot/XS 1999, ISIS-CNES).

- Ménages et ressources sylvo-pastorales.
- Propriété agricole et production animale.
- Risques naturels et aménagements (annexe II).

4- Le rôle des SIG :

Les différentes sources documentaires et cartographiques ont servi de base à l'alimentation d'un Système d'Information Géographique (SIG). Le SIG est alors un outil de saisie de mise en mémoire, de transformation, d'analyse et de représentation de données qui donnent une description d'une partie de la surface terrestre et des aménagements (BOHNET D., 1994). « L'utilisation d'un système d'information géographique peut varier de la simple consultation de l'information qui caractérise les objets spatiaux jusqu'à la modélisation des interactions spatiales des phénomènes (RABIA M.C., 1998).

Le SIG couvre de nombreuses applications très diverses et permet d'aborder des échelles spatiales très variées. Il représente un outil efficace pour explorer des échelles de temps multiples (du passé au futur proche et lointain). Cependant, il constitue un volet indispensable pour le suivi et la détection des changements dans l'occupation et l'utilisation du sol. Les résultats issus de traitements des données images peuvent être croisés avec des données vectorielles pour avoir un document de synthèse.

4.1- Caractéristiques des informations qui sont intégrées dans le SIG du delta :

Le tableau suivant présente quelques couches matricielles et vectorielles qui ont été intégrées dans le SIG réalisé pour le delta de Mejerda.

Tableau n°6 : Quelques couches constitutives du SIG réalisé pour le delta.

Couches	types	Sources
Couches vectorielles (courbes de niveau, points côtés, réseau hydrographique, puits, végétation permanente, voirie, sites archéologiques, limite du delta...)	Vecteur	Cartes topographiques (1/25000 et 1/50000)
La phytoécologie	Vecteur	Carte phytoécologique au 1/200000
La géologie	Vecteur	Cartes géologiques (1/50000)
Occupation du sol 1950	Vecteur	Cartes topographiques (1/50000) &

		photographies aériennes 1948-1949
Occupation du sol 1974	Vecteur	photographies aériennes 1974
Classification supervisée de l'image 1988.	Raster	Raster
L'NDVI, 1988	Raster	L'image Spot/XS 1999 (ISIS-CNES)
Occupation du sol en 1999	Vecteur	Projet INFOTEL (DGF-MARH)
Classification supervisée de l'image 1999.	Raster	L'image Spot/XS 1999 (ISIS-CNES)
L'NDVI, 1999	Raster	L'image Spot/XS 1999 (ISIS-CNES)
L'image 2002	Raster	L'image Spot/XS 2002 (ISIS-CNES)
Occupation du sol 2007	Vecteur	Orthophotos 2000 & image Spot/XS 2002 & extraits Google Earth © 2007


4.2- Les dates seuils retenues pour la détection des changements :

Le tableau suivant résume les dates seuils retenues pour l'étude de l'évolution de l'occupation et l'utilisation du sol dans le delta de Mejerda, ainsi que les différentes sources de données utilisées.

Tableau n°7 : Les dates seuils et les sources d'informations pour la détection des changements dans l'occupation-utilisation du sol.

Données \ Date	1950	1963	1974	1982	1988	1999	2000	2002	2007
Photos aériennes 1948-1949	X								
Cartes topographiques 1950 (1/50000)	X								
Photos aériennes 1962-1963		X							
Photos aériennes 1974			X	X					
Cartes topographiques 1982 (1/25000)				X					

Image Spot/XS 1988				X				
Image Spot/XS 1999					X			
Les orthophotos 2000						X		X
Image Spot/XS 2002							X	X
Les extraits Google Earth© 2007								X

 Seuil principal.

 Seuil secondaire.

Les lacunes aux niveaux des images satellitaires et des photographies aériennes (les secteurs non couverts) ont été comblées par d'autres sources de données (Tableau n°7).

5- La cartographie : Un outil pour la valorisation des résultats.

5.1- Historique et évolution de la cartographie de l'occupation-utilisation des sols :

La cartographie est l'un des moyens de visualisation de l'information géographique. La cartographie de l'occupation et de l'utilisation des sols est très ancienne (cadastres pharaoniens, romains...). A partir du XVII^{ème} et du XVIII^{ème} siècle après J.C., "les cartographes" ont commencé à représenter le recouvrement ainsi que les activités du sol et cela par une loi napoléonienne «qui met en place la cartographie des limites de propriétés et de l'utilisation du sol de toutes les communes de France » ce travail est achevé en 1850 (NASR M., 2007).

La représentation cartographique des phénomènes en évolution est relativement récente. La notion "des dynamiques " n'a été abordée en cartographie que vers 1837. En effet, HARNESS H.D. a mis en place la première carte traitant des phénomènes dynamiques quantitatifs (in YENGUI T., 2006). Vers 1959, ROBINSON et THROWER ont adopté une animation cartographique utilisant la technologie du cinéma et du mouvement (in YENGUI T., 2006).

DHIEB M. a expliqué ce retard acquis dans la représentation des phénomènes dynamiques par l'attitude des cartographes envers l'évolution des technologies,

l'accélération du rythme de vie et aussi aux multiplications rapides des méthodes cartographiques mêmes (in YENGUI T., 2006). En effet, la représentation des phénomènes statiques a connu une évolution remarquable avec l'utilisation d'une infinité de méthodes et de représentations graphiques ou cartographiques. Par contre, les phénomènes en évolution (dynamique), ont été caractérisés par l'incapacité de la carte à transcrire le mouvement, même s'il y a eu un effort à inventer et à adopter un symbolisme dynamique. D'ailleurs, DHIEB M. n'admet pas le concept de « cartographie dynamique », il utilise plutôt le concept de « cartographie de la dynamique » (DHIEB M., 2002).

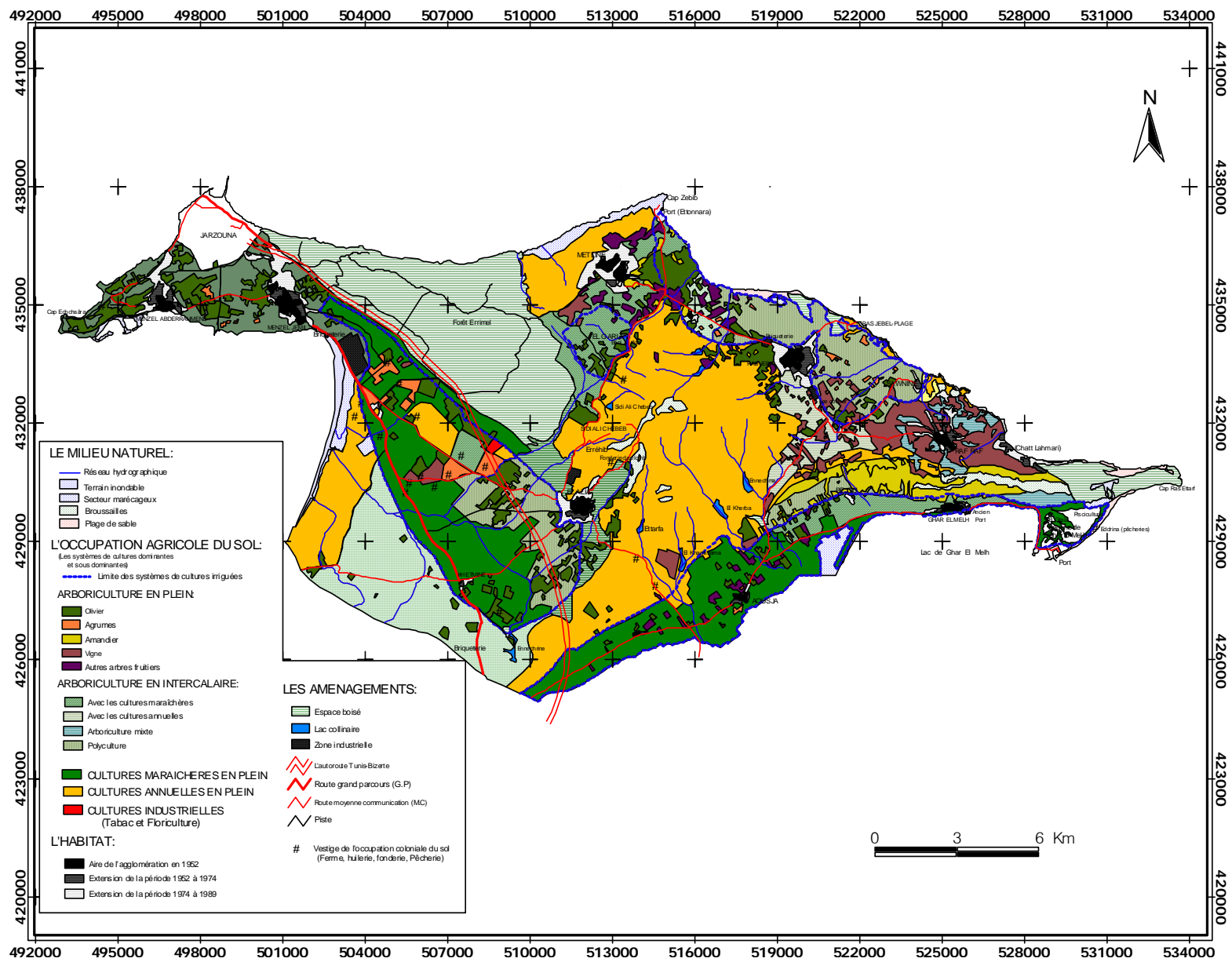
Aujourd'hui, face au développement économique et l'évolution accélérée de la couverture du sol que ce soit en milieu rural ou urbain, avec l'extension des choix d'aménagement et de l'intensification du bâti et l'intérêt de gérer et de préserver le potentiel écologique, les projets de cartographie de l'occupation-utilisation du sol se sont multipliés. Le développement des moyens et des outils pour la cartographie de l'état du sol constitue un atout majeur. En effet, les images d'observation de la terre (aériennes et satellitaires) représentent un potentiel précieux d'acquisition de l'information géographique.

Actuellement l'émergence des images THRS (Très Haute Résolution Spatiale), constitue encore un bénéfice majeur dans le domaine de « la cartographie du détail ». Dans ce contexte, nous allons présenter quelques travaux et programmes qui sont réalisés en Tunisie et ailleurs.

5.2- Quelques travaux et programmes de cartographie de l'occupation-utilisation des sols réalisés en Tunisie :

Malgré l'importance et le rôle des cartes d'occupation et d'utilisation des sols dans les différents domaines et à l'exception de quelques programmes et essais de chercheurs, les travaux sont encore limités, nous citons à titre d'exemple :

- La carte d'occupation du sol réalisée par OMRANE M.N. couvrant une grande partie de la région Tunis-Bizerte et faite à partir d'une image Landsat (OMRANE M.N, 1982).
- La carte d'occupation et d'utilisation du sol (ill. n°41), réalisée par BEN SALEM M. pour le Sahel de Bizerte à partir des photographies aériennes et des images satellitaires (BEN SALEM M., 1996).



ill. n°41 : La carte d'occupation et d'utilisation du sol pour le Sahel de Bizerte (BEN SALEM M., 1996 ; vectorisation personnelle sous Arc View)

- La carte d'occupation du sol réalisée par DHIEB M. et al., pour le Grand Sfax dans le cadre d'un « Atlas Numérique pour le Grand Sfax » (NASR M., 2007).
- Le prototype de la carte d'occupation du sol réalisé par NASR M. pour le Grand Sfax » (NASR M., 2007).

Des programmes pour la cartographie de l'occupation-utilisation du sol ont été également réalisés sous la direction de divers organismes, nous citons parmi eux.

➤ ***Le projet INFOTEL (inventaire des forêts par télédétection)*** : Ce projet a été réalisé en 1999, grâce à l'effort conjugué du Centre National de Télédétection (CNT, Ministère de la Défense Nationale), la Direction Générale des Forêts (DGF, Ministère de l'Agriculture et des Ressources Hydrauliques) et la Direction Générale de la Recherche Scientifique et de la Technologie (DGRST, Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche Scientifique et de la Technologie). Il a pour objet de fournir une série d'informations relatives à :

- L'évaluation des forêts en termes d'étendue et de potentiel productif.
- La répartition et la fréquence des essences forestières et pastorales.
- La structure et la répartition des types de forêts par régime.

La méthode mise en œuvre pour réaliser cet inventaire a consisté à la combinaison des diverses techniques existantes telles que les techniques d'échantillonnage, de télédétection (les images utilisées dans cette étude sont du satellite SPOT), de biomasse, de relevés floristiques, de traitement de données ainsi que d'autres procédés appropriés (MARH, 2007).

Le produit de cet inventaire est la carte de l'occupation du sol avec une nomenclature qui regroupe presque 84 types d'occupations. Ils sont organisés en 4 niveaux (les superficies forestières, les autres formations forestières, les superficies non boisées et les autres superficies tels que ; les espaces urbains, les carrières, les décharges, les espaces incultes...).

➤ ***Le projet MED GEO BASE (base géographique méditerranéenne)*** :

Ce projet implique l'effort du Ministère de l'Équipement, de l'Habitat et de l'Aménagement du Territoire (MEHAT), en partenariat avec l'Agence Nationale de Protection de l'Environnement (ANPE). La finalité de ce programme est la mise en place d'une base de données numérique pour l'occupation du sol à l'échelle 1/100000 (NASR M., 2007). En effet, c'est dans l'intérêt de satisfaire les besoins en matière de données fiables et

géoréférencées sur les ressources naturelles, qu'il y a eu préparation d'une base d'information géographique « type ». Ce programme a été appliqué tout au long du littoral tunisien pour une bande de 5 kilomètres de largeur.

La cartographie de l'occupation du sol dans les secteurs littoraux est basée essentiellement sur l'interprétation des images satellitaires LANDSAT/TM de 1999, ainsi que l'apport des systèmes d'informations géographiques. Elle était réalisée par des spécialistes tunisiens aidés par des experts internationaux et s'appuie essentiellement sur l'utilisation de la nomenclature du projet « Corine Land Cover » de 1988 (NASR M., 2007).

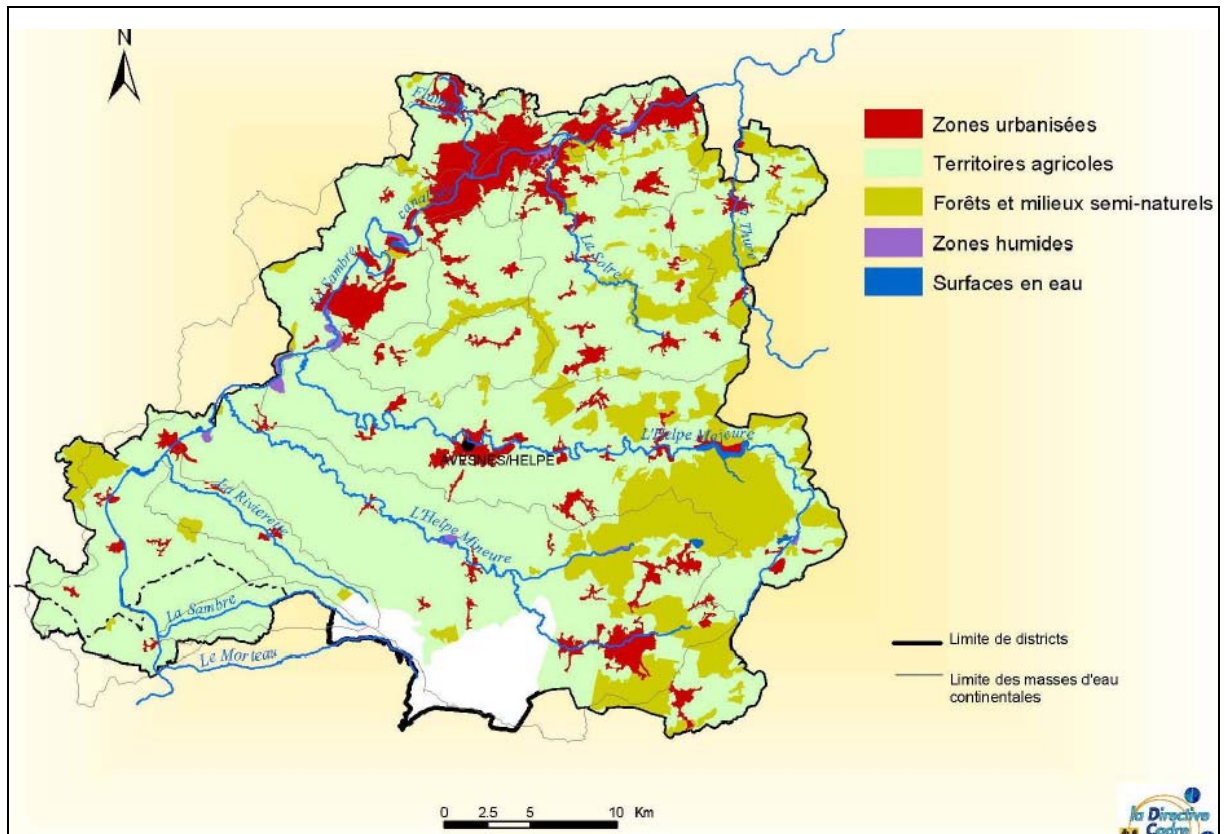
5.3- Quelques travaux et programmes d'occupation-utilisation des sols réalisés en Europe :

➤ *Le projet CORINE LAND COVER (coordination des informations sur l'environnement) :*

« CORINE Land Cover » est un programme qui a été mis en place depuis 1985 par l'Agence Européenne pour l'Environnement. L'objectif de ce projet est de réaliser un inventaire cartographique de l'occupation des terres sous SIG, afin de fournir aux gestionnaires de l'environnement des données numériques, localisées, fiables et homogènes sur l'occupation du sol pour les différentes régions de l'Union Européen (<http://www.ngi.be/>).

Le choix de l'échelle au 1/100 000 pour la production de « CORINE Land Cover » a été fait pour répondre à plusieurs critères. Cette échelle est bien adaptée aux besoins nationaux et européens du suivi et de gestion de l'environnement ou d'aménagement de l'espace. Les limites d'usage découlent de ce choix, la gestion locale d'espaces sensibles ou la surveillance de territoires précis relèvent d'échelles plus précises (ill. n°42), comme le 1/50 000 ou le 1/25 000 (<http://www.ngi.be/>).

La base de données « CORINE Land Cover » 2000, a été réalisée à partir d'images satellitaires de l'année 2000. C'est un véritable référentiel d'occupation du sol, mieux "calé" sur la base de données cartographique de l'IGN (Institut Géographique National). De plus, la nomenclature de ce programme représente une référence internationale puisqu'elle intègre entre 44 et 83 « postes » ou types d'occupations. En effet, plusieurs légendes des cartes d'occupation des sols dans le monde sont inspirées du modèle « CORINE Land Cover » notamment celle qu'on a adoptée pour la carte d'occupation-utilisation du sol du delta de Mejerda (voir carte de synthèse après annexes).



ill. n°42 : La carte d'occupation de District Meuse (Belgique): exemple d'une échelle détaillée (<http://www.ngi.be/>).

➤ ***Le projet MURBANDY (Monitoring of urban dynamics):***

C'est un programme qui a été lancé par la commission Européenne en 1998. Le but est de détecter les changements d'occupation du sol des espaces urbains et périurbains au moyen des images satellitaires, des photographies aériennes et des cartes topographiques. La prise en compte des indicateurs environnementaux et le choix d'un intervalle assez important pour l'étude ont permis de simuler des scénarios de croissance pour 15 agglomérations européennes (NASR M., 2007). Dans le projet « MURBANDY », la cartographie est basée essentiellement sur la nomenclature du programme « CORINE Land Cover ».

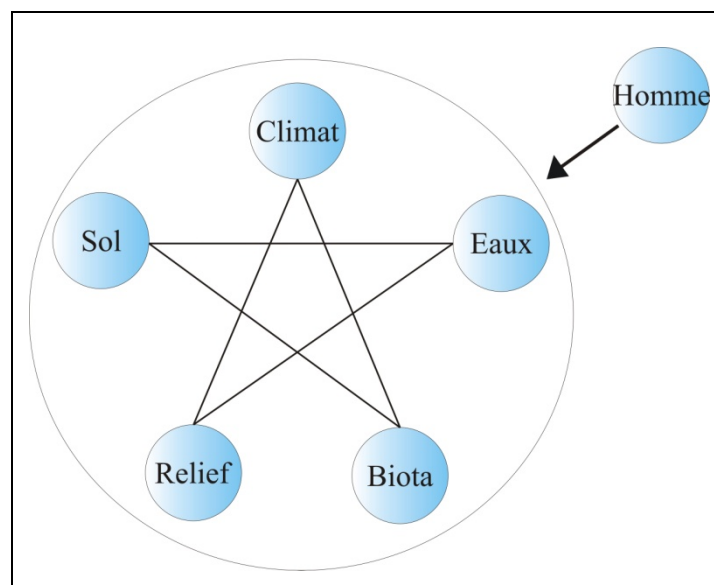
Face à l'importance du thème « occupation-utilisation du sol » comme indicateur de développement, la commission Européenne a beaucoup insisté sur la question de l'échelle. Cependant, beaucoup d'organismes ont affiné leurs recherches dans ce contexte par la réalisation du Plan d'Occupation des Sols (POS). En effet, ce document détermine l'affectation des sols selon l'usage principal ou selon la nature des activités dominantes

(utilisation). Il définit ainsi le droit d'utilisation des sols et fixe les règles générales et les servitudes d'utilisation des sols.

Beaucoup de projets qui portent sur l'évolution de l'utilisation et de l'occupation du sol ont été réalisés partout dans le monde. Ceci explique bien l'intérêt accordé à cette thématique. Nous rappelons ainsi, que la carte d'occupation et d'utilisation du sol est un outil d'aide à la décision, un document indispensable pour les aménageurs et pour les environnementaux. Pour cela nous nous sommes intéressés à la méthodologie suivie dans les différents programmes. Notre objectif est la conception d'une nomenclature basée sur celle du projet « CORINE Land Cover » afin de réaliser la carte de l'occupation et de l'utilisation du sol dans le delta de Mejerda et d'y voir la dynamique.

6- Le delta de Mejerda : Un essai de segmentation en unités paysagères.

Le paysage constitue « l'apparence visible de l'espace » (BELHEDI A., 1998). Il représente le niveau d'organisation des systèmes écologiques situé au-dessus de l'écosystème mais en dessous de la région et du continent (ill. n°44), est caractérisé essentiellement par son hétérogénéité et par sa dynamique influençant les processus écologiques (DALLE C., 2001). Au sein d'un paysage on peut identifier toute une gamme d'échelle d'espace et de temps auxquelles se rapportent des processus différents. Cependant, il existe une corrélation entre l'échelle d'espace et l'échelle de temps, et que ce sont les vitesses de fonctionnement des phénomènes qui définissent les niveaux (écosystème et paysage).

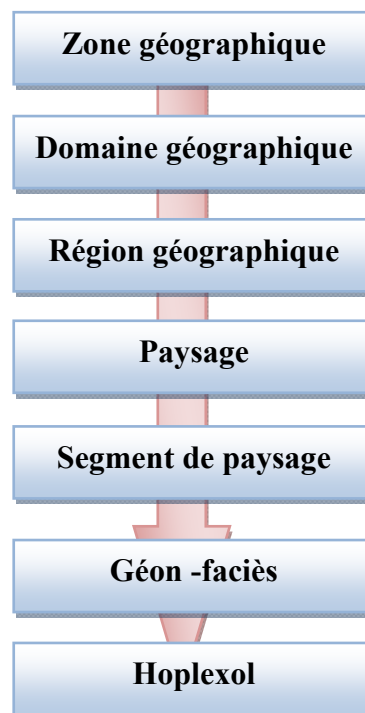


ill. n° 43 : Modèle paysager des années '1940' (FROLOVA M., 2000).

Vers la fin du XIX^{ème} siècle, les géographes ont donné beaucoup d'intérêt à la notion « homme-nature », cela est basé sur le rôle de l'homme dans la formation de paysages. Le modèle paysager (ill. n°43) qui s'affirme dans les années "1940" a classé l'homme comme un acteur principal responsable de tout changement dans l'organisation du paysage (FROLOVA M., 2000).

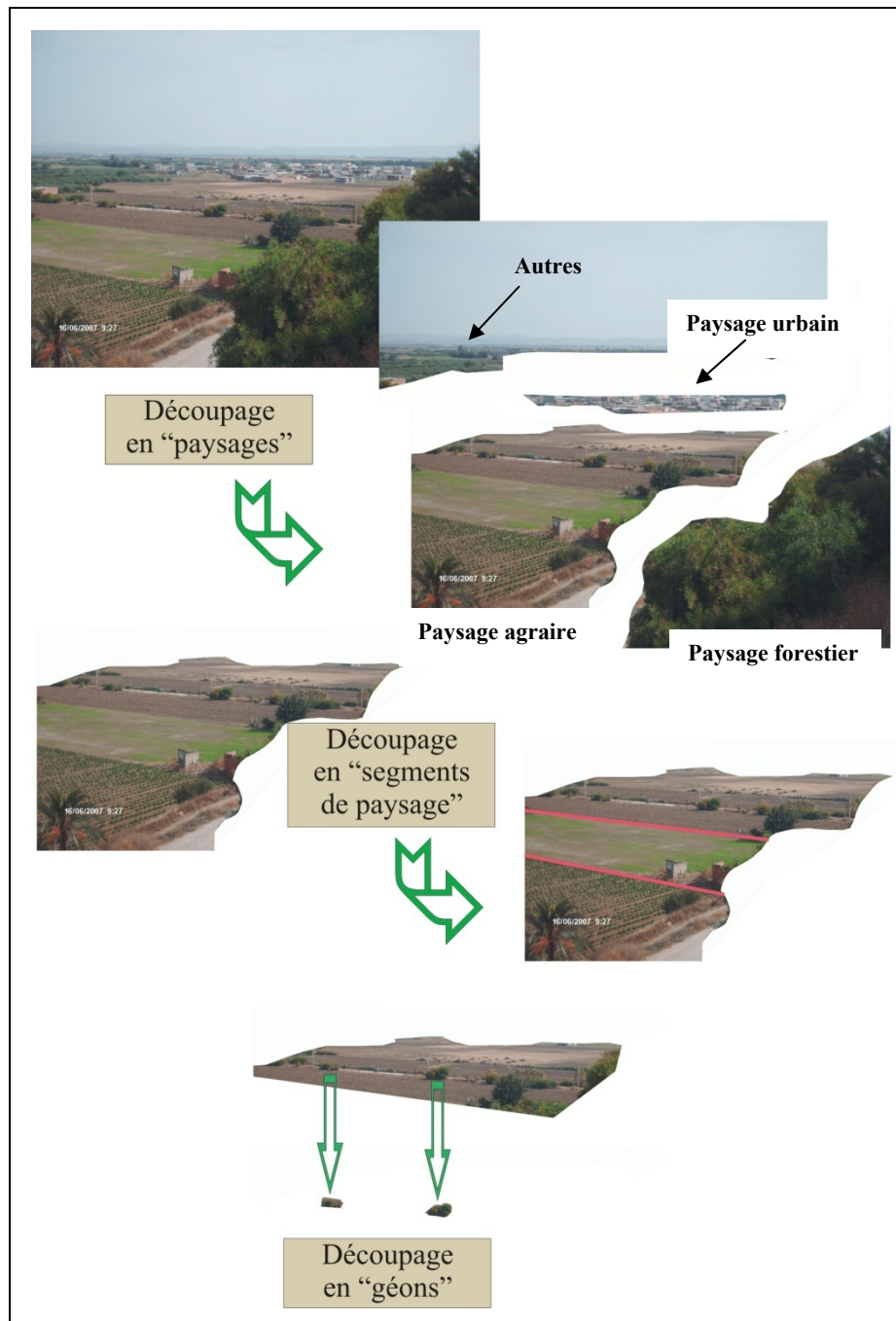
L'objectif essentiel de découpage est de discerner et localiser les enjeux, d'évaluer les conséquences de telle mesure ou de tel accident naturel ou anthropique...mais également de faciliter l'étude et le suivi des changements dans le paysage. La démarche consiste à rechercher, au niveau régional (Tell du Nord-Est), des espaces qui appartiennent à la même classe topographique, et qui ont de relative égale utilisation agricole. Généralement les différentes utilisations du sol laissent des empreintes visibles réparties dans le territoire de façon non-aléatoire (DALLE C., 2001). Cependant, il est facile de repérer « les unités de Relative d'Egale Apparence » (R.E.A.).

Avant de caractériser les critères adoptés pour une typologie des paysages du delta, il est intéressant de préciser les différents niveaux d'organisation des composantes géographiques. En effet, le paysage représente un niveau d'organisation qui se situe en-dessous des concepts ; « zone géographique », « domaine géographique » et « région géographique » et au-dessus des termes ; « segment de paysage » et « géon » (ill. n°44 et n°45).



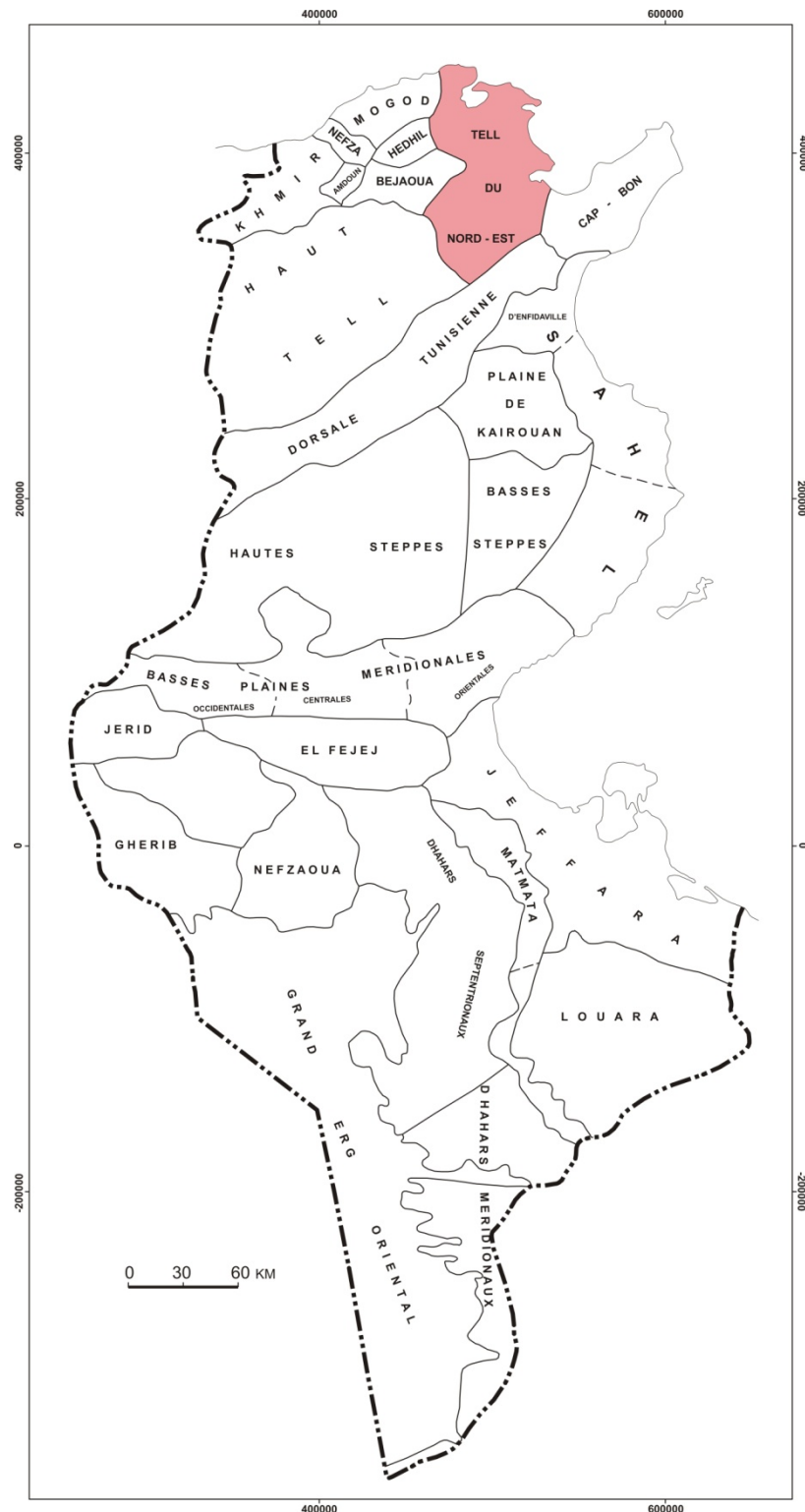
ill. n°44 : Niveaux d'organisation des composantes géographiques
(www.ird.org /RICHARD J.F)

Ainsi, dans sa thèse sur les paysages et les peuples du Niokholo (Sénégal Oriental), GUEYE SEYE A. (1998) a étudié les rapports entre l'homme et son milieu. Il a mis en relation "paysages" et "pays", "segments de paysage" et "terroirs", "géons" et "lieux-dits". A chaque niveau, une identification, appropriation et utilisation du paysage sont analysées. L'ensemble des "usages" permet de caractériser les comportements paysagers particulièrement différenciés des peuples qui occupent la région.



ill. n°45 : Les environs nord de la ville de Kalaât Landalous : Un essai de segmentation

Le découpage de la Tunisie en régions géographiques a été réalisé par DIMANCHE (1985) pour le Nord et LE HOUEROU (1959), pour le Centre et le Sud à l'échelle 1/2000000. L'illustration suivante (ill. n°46) résume cette segmentation. On remarque que le delta de Mejerda appartient au Tell du Nord-Est.



ill. n°46 : Les régions géographiques de la Tunisie (DIMANCHE, 1985 pour le Nord et LE HOUEROU, 1959 pour le Centre et le Sud : document repris au niveau de dessin)

Le tableau suivant résume, les critères et les indicateurs essentiels qu'on a retenus pour la segmentation du delta.

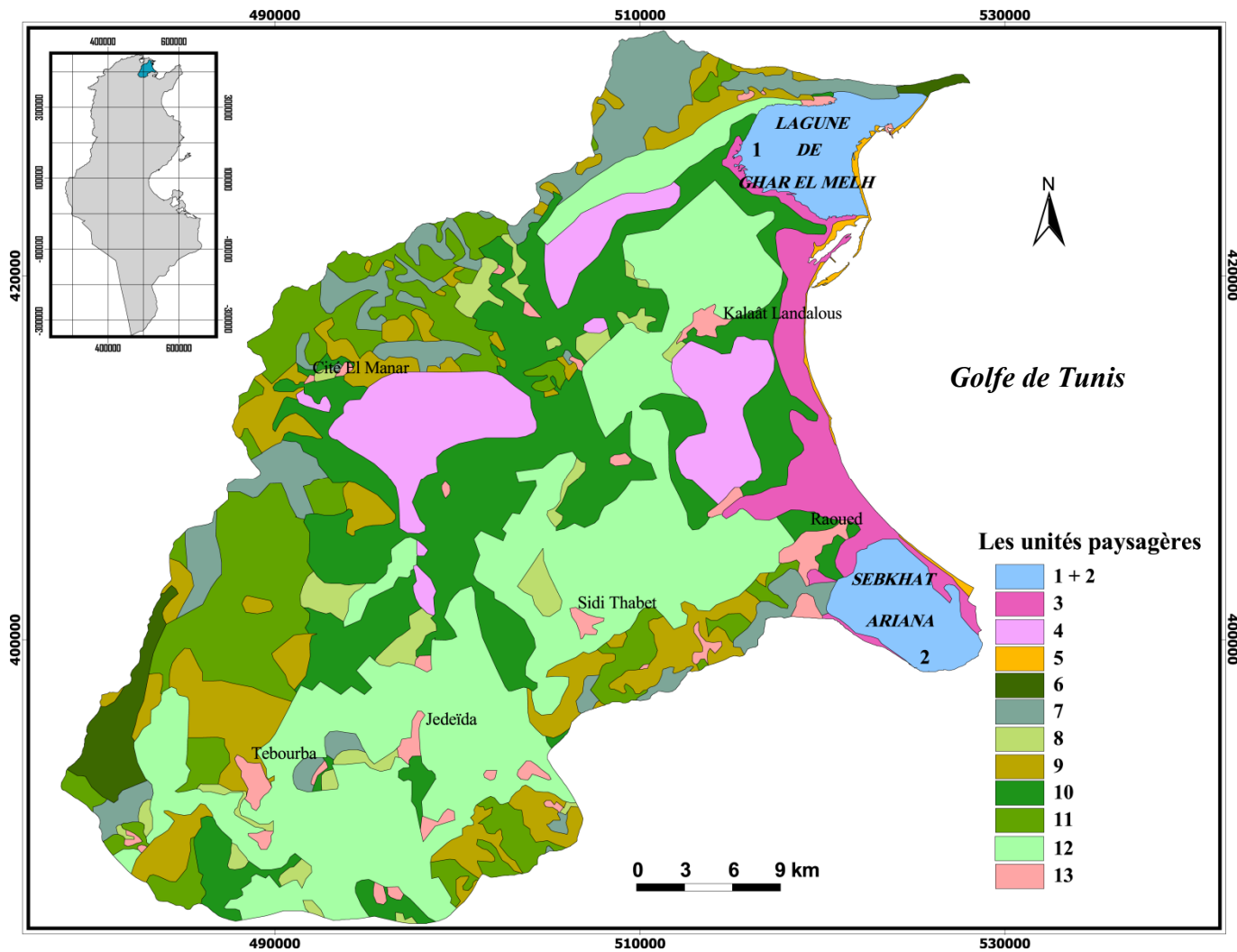
Tableau n°8 : Critères et indicateurs retenus pour la segmentation du delta de Mejerda

Critères	Indicateur n°1	Indicateur n°2
Physique	Pente	Sous-bassins versants
Economique	Occupation agricole*	Forêt et occupation pastorale*
Habitat	Bâti	-

* indicateur retenu par le projet INFOTEL, 1999

- **L'indicateur « Pente »** : La topographie constitue un facteur primordial dans l'étude des unités paysagères. Elle influence les conditions climatiques, l'érosion et le recouvrement des sols. Les classes de pente ont été calculées à partir du Modèle Numérique d'Altitude MNA (réalisé à partir des cartes topographiques au 1/25000).
- **L'indicateur « Sous-bassins versants »** : Intégrer les limites des « sous-bassins versants » dans cet essai de découpage c'est garantir les détails. Les limites des « sous-bassins versants » ont été déterminées à partir des cartes topographiques au 1/25000.
- **L'indicateur « Occupation agricole »** : Cet indicateur est calculé pour la totalité du delta de Mejerda en fonction de l'importance en terme de superficie des terres mises en cultures et cela dans le cadre du projet INFOTEL (1999).
- **L'indicateur « Forêt et occupation pastorale »** : Il est calculé de la même façon que le précédent.
- **L'indicateur « Bâti »** : Calculé à partir de la classification supervisée de l'image Spot/XS 1999 (en fonction du nombre de pixels qui définissent la classe « Bâti et autres constructions ») ⁽³⁾. On rappelle que notre objectif est de dégager des unités paysagères définies par leur composition et leur structure et ainsi de converger vers une typologie des paysages dans le delta. Pour ce faire on a utilisé les données (vecteurs) du projet INFOTEL, la classification supervisée de l'image Spot/XS 1999 et les cartes topographiques au 1/25000. On profitera des fonctionnalités des SIG permettant de gérer l'image classée, les

³ : En cas de confusion entre la classe « bâti et autres constructions » et celle de « sols nus », on fait recours à la photo-interprétation (3^{ème} chapitre, 2^{ème} partie).



ill. n°47 : Typologie des paysages du delta de Mejerda (élaboration personnelle à partir des données du projet INFOTEL, la classification supervisée de l'image Spot/XS 1999 et les cartes topographiques au 1/25000).

descripteurs et les indicateurs de paysage pour arriver à une carte de synthèse (ill. n°47) qui représente un essai de typologie des paysages du delta.

Les caractéristiques des unités paysagères choisies sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau n°9 : caractéristiques des unités paysagères.

indic. Uni. paysagère	Pente	Sous-Bassin. versant	Occupation agricole	Forêt et occ. pastorale	Constructions humaines	Autres composantes
1	-	-	-	-	-	eau
2	-	-	-	-	-	eau
3	Très faible	Non pris en compte	absente	absente	-	eau
4	Très faible	Non pris en compte	céréaliculture	parcours	Aménagements hydrauliques	eau
5	Très faible	Non pris en compte	absente	absente	Hôtels & ports	-
6	Forte	Adapté	Clairière de Céréaliculture	Feuillus, résineux et mixte	Travaux de CES	-
7	Forte	Adapté	Céréaliculture & Arboriculture	Feuillus, résineux et mixte	Travaux de CES	-
8	Faible	Non pris en compte	Arboriculture	-	Dominance de l'habitat isolé	-
9	Forte	Adapté	Arboriculture	-	Dominance de l'habitat isolé	-
10	Faible	Non pris en compte	Céréaliculture	Haie de protection	Dominance de l'habitat isolé	-
11	Forte	Adapté	Céréaliculture	Haie de protection	Dominance de l'habitat isolé	-
12	Faible	Non pris en compte	Périmètre irrigué	Haie de protection	Aménagements hydrauliques	-
13	Faible	Non pris en compte	-	-	Habitat aggloméré	-

Conclusion :

Cette première partie dresse un aperçu sur l'intérêt de l'étude de la dynamique de l'occupation et du sol et de son utilisation. Elle met en évidence l'existence de plus d'une expérience au niveau national et international à travers les différents projets présentés. L'exploitation d'une bibliographie riche a permis de suivre les processus de la formation et de l'évolution du delta de Mejerda depuis le XI^{ème} siècle avant J.C. jusqu'au XX^{ème} siècle après J.C. L'historique de l'occupation du sol dans le delta, nous apprend l'ancienneté de l'intervention de l'homme dans ces milieux (la fondation d'Utique comme première ville et pôle commercial vers 1101 avant J.C. par les phéniciens).

De l'étude des composantes du milieu naturel, nous retiendrons la richesse des ressources écologiques et la fragilité des écosystèmes dans le delta de Mejerda. La richesse se traduit par l'indicateur biovolume (Forêts, parcours, arboricultures, céréalicultures, périmètres irrigués..., terres cultivables). La fragilité est imputable essentiellement à l'irrégularité des précipitations, ainsi que les pluies exceptionnelles et le risque d'inondation dans la plaine alluviale, la salinité et l'insuffisance des ressources hydrauliques.

L'approche méthodologique dans cette étude implique le choix de plusieurs sources de données (images satellitaires, extraits Google Earth ©, photographies aériennes, cartes topographiques...) pour la détection des changements et pour l'établissement de la carte d'occupation-utilisation du sol. Cela est en fonction de plusieurs échelles et niveaux d'observations. Afin de faciliter l'étude des composantes du delta, un essai de segmentation (découpage en unités paysagères de mêmes caractéristiques) a été réalisé à partir des données du projet INFOTEL, de l'image Spot/XS 1999 et des cartes topographiques au 1/25000.

Notre objectif dans les chapitres qui suivent (deuxième partie), est :

- d'étudier l'évolution de l'occupation-utilisation du sol proprement dite pour le milieu naturel, le milieu rural, agricole et le milieu urbain et périurbain.
- d'appréhender le poids de l'homme et des autres facteurs qui agissent sur les différents changements dans le paysage.

DEUXIEME PARTIE
*DYNAMIQUE DE L'OCCUPATION-
UTILISATION DU SOL DANS LE DELTA
DE MEJERDA :*

Introduction :

Cette seconde partie s'attache à présenter les résultats issus d'une cartographie détaillée de la dynamique de l'occupation et de l'utilisation du sol, grâce à l'outil SIG. Elle est basée sur le croisement et la comparaison des données utilisées, à savoir, celles de télédétection aérienne et aérospatiale, les résultats de l'enquête socio-économique, ainsi que l'usage de multiples données statistiques fournies par des organismes officiels. Elle s'organise comme précédemment autour de trois grands axes :

- En premier lieu, il s'agit de présenter l'évolution de l'occupation-utilisation du sol du milieu naturel (formations forestières, pré-forestières, plages et zones humides), et de voir leur impact sur la dynamique des paysages, en particulier ceux du littoral.
- Le second chapitre est une présentation de l'évolution du delta agricole. L'attention est portée sur la dimension spatiale de l'aménagement hydraulique et sur "les vecteurs" qui en sont à l'origine. Il s'agit aussi de voir et d'étudier l'évolution de l'état de recouvrement et surtout de l'utilisation des terres agricoles en fonctions des différentes spéculations (arboriculture, cultures maraîchères, céréaliculture en sec,...). On s'intéresse également dans ce chapitre, à l'étude du secteur "pêche", qui constitue depuis longtemps, une principale activité économique dans la région, et qui absorbe une main d'œuvre très importante.
- L'analyse de la dynamique de l'environnement est inséparable de l'observation de la croissance urbaine. Le troisième et dernier chapitre de cette deuxième partie est consacré à l'étude de la dynamique des espaces urbains et "périurbains" et à l'étude des activités industrielles et touristiques. En somme, il s'agit de voir et de tester les différentes hypothèses posées au début de notre travail (introduction générale) sur lesquelles s'articule notre problématique.

Chapitre 1 :

**LE MILIEU NATUREL : EVOLUTION
DE SON OCCUPATION-UTILISATION DU SOL ET
LEUR IMPACT SUR LA DYNAMIQUE DES PAYSAGES**

1- Le domaine forestier :

Dans ce thème, notre analyse concernera les espaces forestiers plus ou moins denses, sur les broussailles ainsi que sur les prairies naturelles. De nos jours, ces domaines apparaissent plus touffus du fait d'un reboisement récent. La comparaison des illustrations n°48 et n°49, ainsi que l'examen de l'illustration n°51 nous ont permis de caractériser deux phases d'évolution :

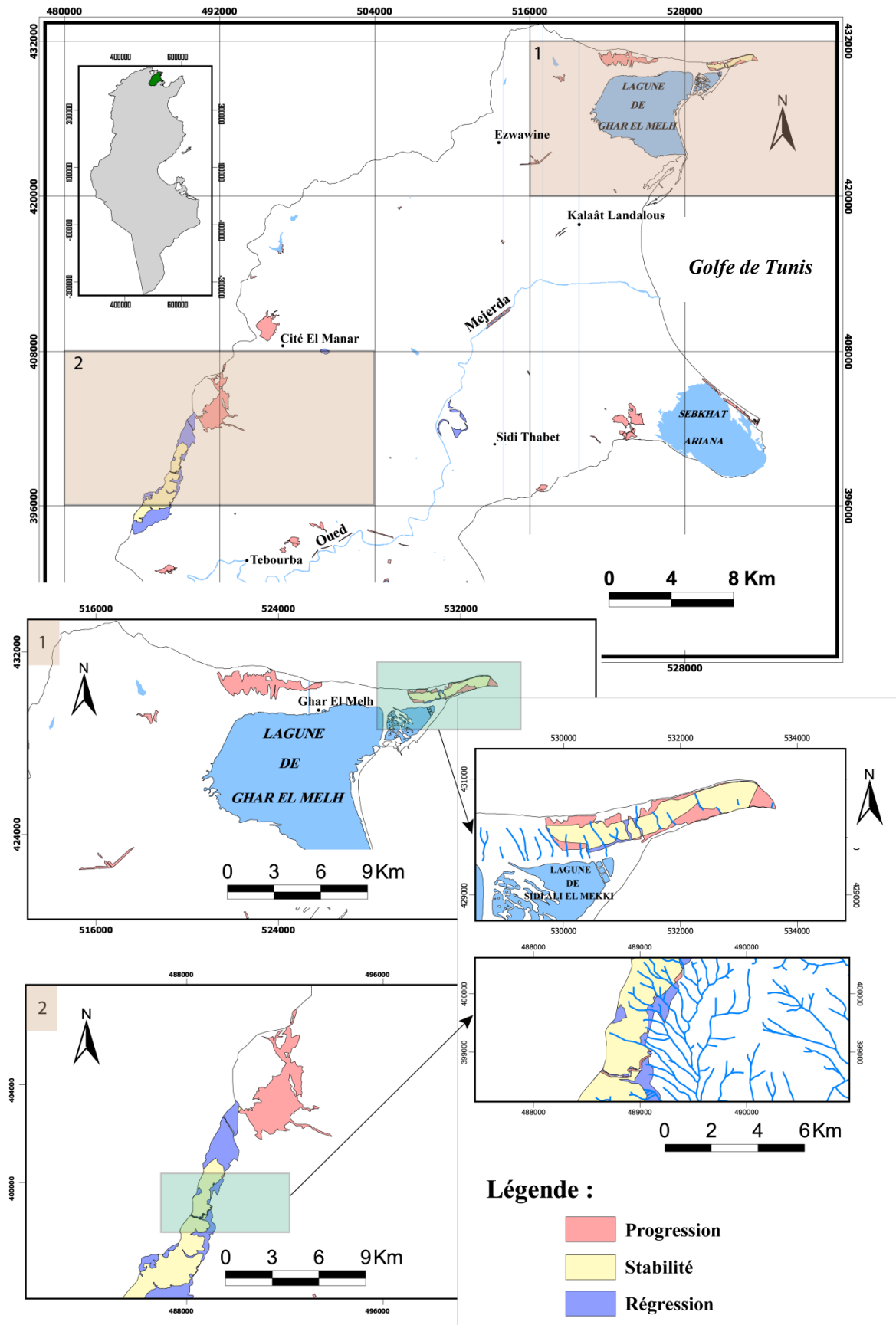
1.1- Une évolution rapide du couvert forestier entre 1950 et 1982 :

Au cours de cette période le couvert forestier de la zone d'étude a connu une évolution rapide, de l'ordre de 108 %. Deux étendues forestières ont été repérées à travers les photographies aériennes de 1948-1949 et à travers les cartes topographiques au 1/50000 de 1950 :

- Le couvert forestier de Jebel Ennadhour et de Jebel Eddmina : Sa superficie est de l'ordre de 128 hectares. Selon OUESLATI A. (2004), cette forêt a été implantée au début du XX^{ème} siècle pour fixer le sable activé par le vent, depuis les rivages du Raf Raf vers le pied méridional de Jebel Ennadhour. Donc, ce domaine forestier qui est marqué par des conifères tel que le Pin Pignon ne correspond pas à une végétation héritée des unités forestières qui marquent le secteur d'étude et qui figurent sur la carte phyto-écologique dressée en 1967.

- Le couvert forestier qui marque les reliefs limite la zone d'étude par l'Ouest : Cette forêt couvre presque 1253 hectares et s'étend sur les versants Ouest et Est des Jebels ; El Fernana, El Baouala, El Houia. Elle couvre une grande partie de l'unité forestière à série d'Olivier-Lentisque indiquée sur la carte phyto-écologique de 1967 par les lettres « IL ». En comparaison avec la forêt de Jebel Ennadhour et Jebel Eddmina, elle est caractérisée par des formations mixtes. Les levés de terrain nous ont permis de distinguer une mosaïque de feuillus et de résineux marqué par d'Eucalyptus et de Pin d'Alep.

D'une manière générale, les unités forestières naturelles sont très rares dans la zone d'étude. En effet, l'occupation humaine très ancienne dans le delta de Mejerda, encadrée par les différents sites témoins, a beaucoup influencée l'évolution du couvert forestier. La végétation climacique a été défrichée pour exploiter les terres et pour la mise en valeur intense. Les étendues forestières existantes jusqu'à la moitié du XX^{ème} siècle, sont le résultat d'une action d'aménagement qui a débutée en 1903 par un décret qui insiste sur « la conservation et l'exploitation rationnelle de la propriété forestière et des nappes alfatières.. » (Article I du code forestier, in EL HAMROUNI A., 1985).



ill. n°48 : Evolution du couvert forestier du delta de Mejerda entre 1950 et 1982.
(Photographies aériennes 1948-1949 et cartes topographiques au 1/50000 et au 1/25000)

L'action de reboisement a connu une évolution assez importante entre 1904 et 1920. En effet, plusieurs espèces très adaptées ont été plantées pour conserver certains milieux fragiles. A titre d'exemple, on peut indiquer le reboisement des anciens domaines forestiers et le reboisement des dunes mobiles par le Pin d'Alep et des espèces exotiques comme l'Eucalyptus, car l'espèce offre une bonne adaptation à la sécheresse estivale du fait de son appareil racinaire développé (CLEMENT V., 1999 in FRANCHOMME M., 2002). L'Eucalyptus est utilisé également dans les travaux de Conservation des Eaux et des Sols C.E.S. (photo n°7).



Photo n°7 : Plantation de l'Eucalyptus afin de protéger les sols de part et d'autre de l'oued Mejerda en cas de débordement (lieu : croisement de l'oued Mejerda avec la route nationale de Bizerte).

Vers 1982, le couvert forestier a connu une extension très rapide. L'illustration n°48, indique l'apparition de nouvelles étendues à Jebel Ennadhour précisément à l'Ouest de la ville de Ghar El Melh. D'autres étendues sont apparues également sur les versants Ouest de Jebel Besbassia, à Jebel Es-Sakkak et à Jebel Ennahli. Ces unités forestières se composent essentiellement de Pin Pignon (le cas Jebel Ennadhour), de Pin d'Alep (le cas de Jebel Es-Sakkak) et d'Eucalyptus (le cas de Jebel Ennahli).

L'accroissement de la surface forestière dans le delta de Mejerda est le résultat d'une vague de reboisement qui a commencé en 1964 (BEN SALEM M., 1996) avec la plantation d'espèces très adaptées aux conditions climatiques et aux critères du milieu.

Durant la même période (1950-1982), des secteurs importants ont été défrichés suite à l'influence de plusieurs mécanismes. La forêt d'Eucalyptus située à Jebel El Baouala et à Jebel El Houia et qui existait en 1950 et repérée sur les feuilles topographiques au 1/50000, a connu un recul remarquable dans sa partie nord aussi bien que dans sa partie sud. D'autres secteurs à Jebel Eddmina de surface très réduite ont été également déboisés. Le choix de plusieurs échelles d'observation pour étudier l'évolution du couvert forestier entre 1950 et 1982, autorise une identification de plusieurs détails. En effet, le choix d'une échelle assez grande pour caractériser l'état du couvert forestier à Jebel Eddmina (ill. n°48), montre bien des secteurs déboisés très réduits et qui coïncident avec les talwegs. Ce recul s'explique par l'érosion hydrique qui élargie plus ou moins les lits d'oueds sur des versants à pentes fortes. Sinon, plusieurs autres processus représentent des facteurs essentiels de ce recul.

Depuis les années soixante dix, la forêt en Tunisie, est soumise à une intense pression anthropique. Cette pression se présente sous de multiples aspects dont les plus saillants sont le surpâturage, les incendies, les défrichements. El HAMROUNI A. (1985), a montré, à travers le tableau suivant (tableau n°10) issu des enquêtes réalisées entre 1942 et 1975 par SAOUDI (1983), que les effectifs des bovins et des ovins ont doublé et ont plus que triplé pour les caprins. Il indique que la charge à l'hectare a beaucoup évolué ce qui a augmenté le taux de surpâturage pour atteindre 77 % pour la même période.

Tableau n° 10 : Evolution de la charge des cheptels à l'hectare

	1942	1975
Bovins (tête/ha)	0.25	0.6
Ovins (tête/ha)	0.22	0.4
Caprins (tête/ha)	0.50	1.8

Source : SAOUDI (1983), in El HAMROUNI A., 1985

Les incendies sont très limités dans la zone d'étude. Leur influence est négligeable par rapport aux conséquences des défrichements. En effet, on a constaté à travers l'enquête socio-économique au près des habitants d'El Aroussia, que plusieurs d'entre eux ont abattu la forêt de Jebel El Baouala et de Jebel El Houia depuis longtemps pour exploiter le bois.

En évaluant quantitativement et qualitativement la pression anthropique, El AMAMI (1979), (in EL HAMROUNI, 1985), indique que le taux de défrichement a beaucoup évolué

et a atteint 2.77 % entre 1962 et 1973 contre 0.57 % pour la période 1949-1962. Ces taux montrent une nette accélération du rythme de destruction de la végétation forestière.

1.2- Le couvert forestier se multiplie de même entre 1982 et 2007 :

Au cours de cette période, le couvert forestier a connu une évolution remarquable, le rythme d'évolution était presque égal à celui de la période 1950-1982. En effet, le taux d'évolution, est de l'ordre de 112,3 %.

Des étendues forestières sont apparues après les années « 80 ». Elles ont été repérées sur les versants de Jebel Ennadhour, de Jebel Ammar, de Jebel El Baouala, de Jebel Maïana, ainsi qu'au milieu de la plaine de la basse vallée, autour de certains terrains irrigués et aux bordures de plusieurs cours d'eau. Ces étendues sont dominées par des formations d'Eucalyptus (Jebel Ennahli et sur les bordures d'oued Mejerda et quelques autres cours d'eau, photo n°8), de Pin Pignon (Jebel Ennadhour), et de Pin d'Alep (Jebel El Baouala, Jebel Ammar, Jebel Maïana).

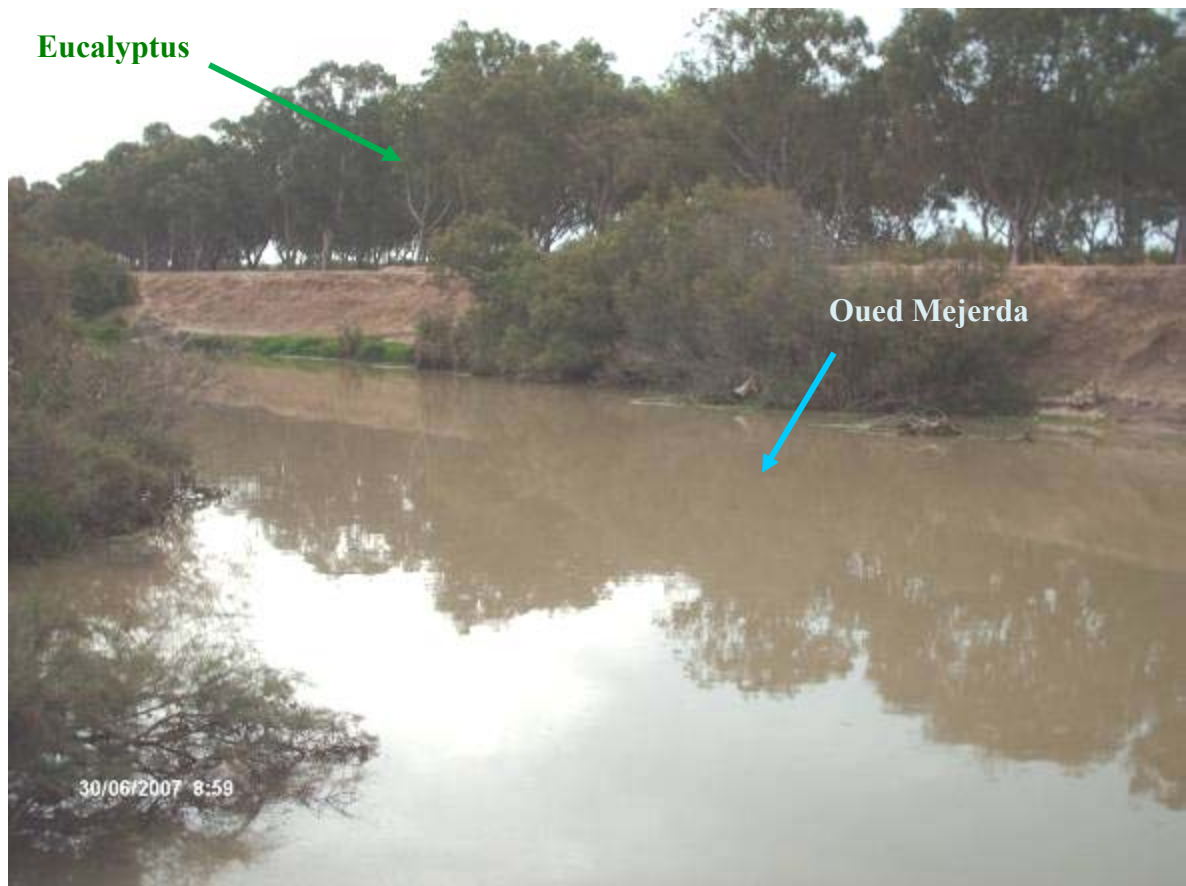


Photo n°8 : Plantation d'Eucalyptus afin d'amortir les effets de débordements de l'oued Mejerda en cas d'inondation. (Les environs de "Pont de Bizerte").

L'illustration n°49, montre deux secteurs qui ont connu une évolution négative du couvert forestier :

- Le versant Sud de Jebel Es-Sakkak : La dégradation du couvert forestier est en fonction des facteurs évoqués déjà pour la période 1950-1982.
- Les secteurs dégradés à Jebel Ennahli : Le choix de plusieurs niveaux d'observation (ill. n°49) pour cartographier l'évolution du couvert végétal à Jebel Ennahli, nous a permis de repérer plusieurs étendues à évolution négative, en vue de leur exploitation en carrières de pierre.

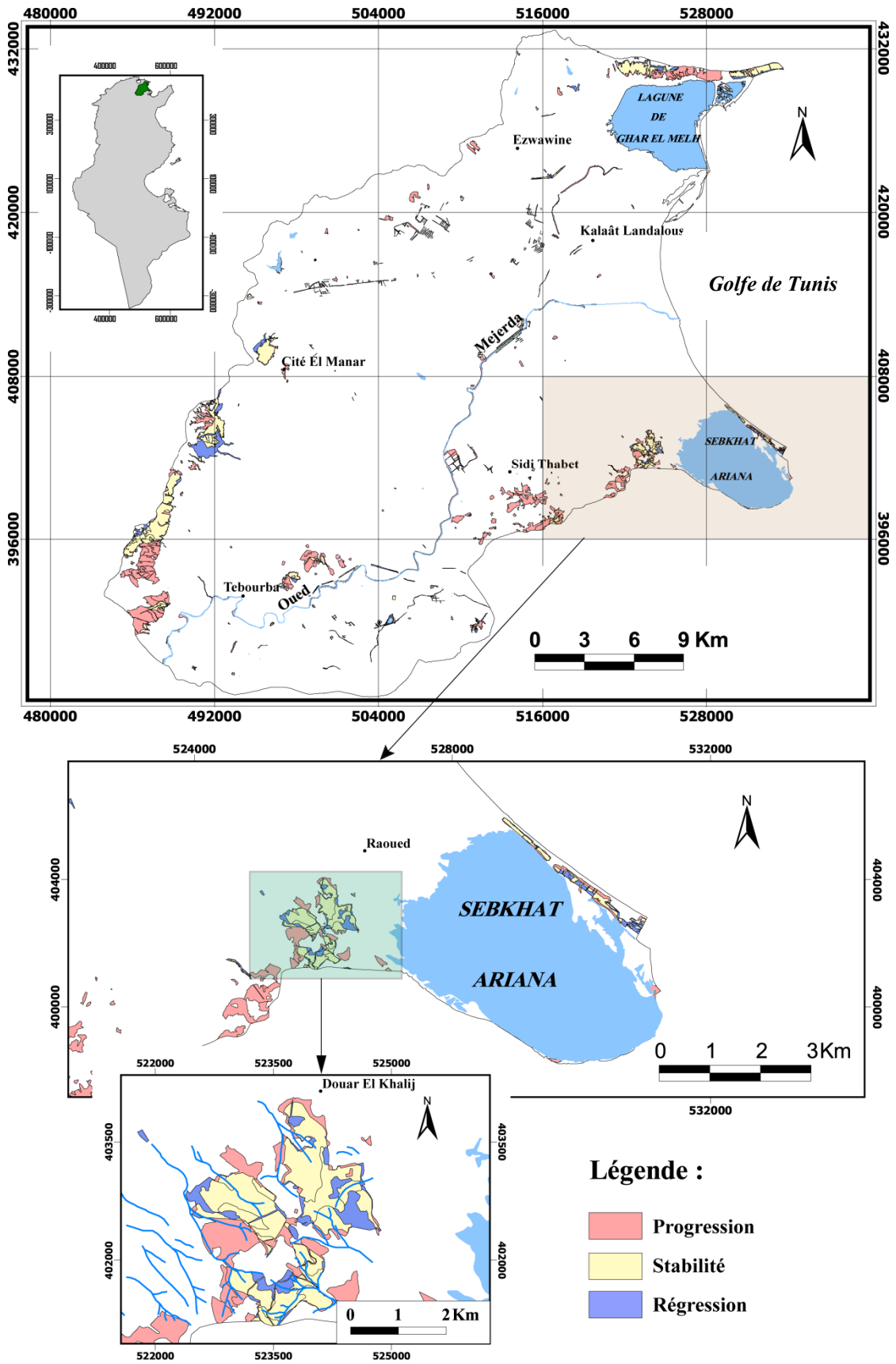
L'évolution positive assez remarquable des formations forestières entre 1982 et 2007, est la conséquence d'une politique de boisement et de reboisement soutenu par le Ministère de l'Agriculture depuis la fin des années « 80 ». En effet, de 1989 à 2007, deux inventaires forestiers et pastoraux nationaux ont été réalisés en Tunisie.

Le premier inventaire, a été réalisé durant la période 1989-1995, dans le cadre du projet forestier cofinancé par la Banque Mondiale (MARH, 2008). Le deuxième inventaire, a commencé en 1998 et s'inscrit dans un programme de recherche intitulé « Projet National Mobilisateur : Inventaire des forêts par télédétection (INFOTEL) ».

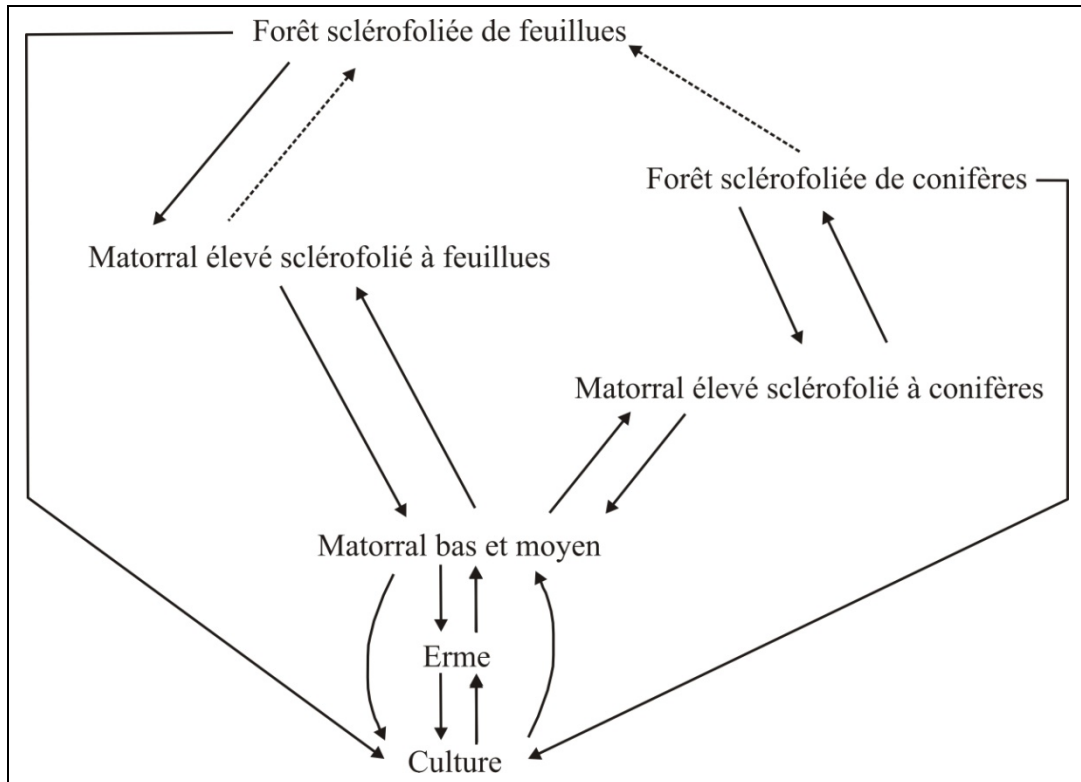
L'objectif des deux inventaires était de mieux caractériser les espèces végétales et de mettre un plan d'intervention pour les protéger et les renforcer. L'érosion était une des préoccupations majeures des forestiers. La Conservation des Eaux et des Sols (CES), compte parmi les tâches les plus importantes de la Direction Générale des Forêts (DGF).

Plusieurs lacs et barrages collinaires ont été construits dans la zone d'étude, afin de maîtriser le ruissellement et ses effets. De même, plusieurs banquettes ont été consolidées par des plantations fruitières et certains milieux sensibles, ont été reboisés par l'Eucalyptus et par le Pin d'Alep. Plusieurs pare-feu ont été également installés en même temps que des postes de vigie pour lutter contre les incendies.

L'analyse de l'évolution du couvert forestier nécessite une connaissance de la question de la dynamique dans le domaine méditerranéen. Selon GAMMAR A. M. (2002), la végétation correspondante est la forêt sclérofoliée de feuillus, ou de conifères méditerranéens. Sa végétation dégradée est l'erme ou le matorral conservant ou non des arbustes sclérofoliés (ill. n°50).



ill. n°49 : Evolution du couvert forestier du delta de Mejerda entre 1982 et 2007 (Cartes topographiques au 1/25000 et au 1/50000, extraits Google Earth © 2007 et travaux de terrain).

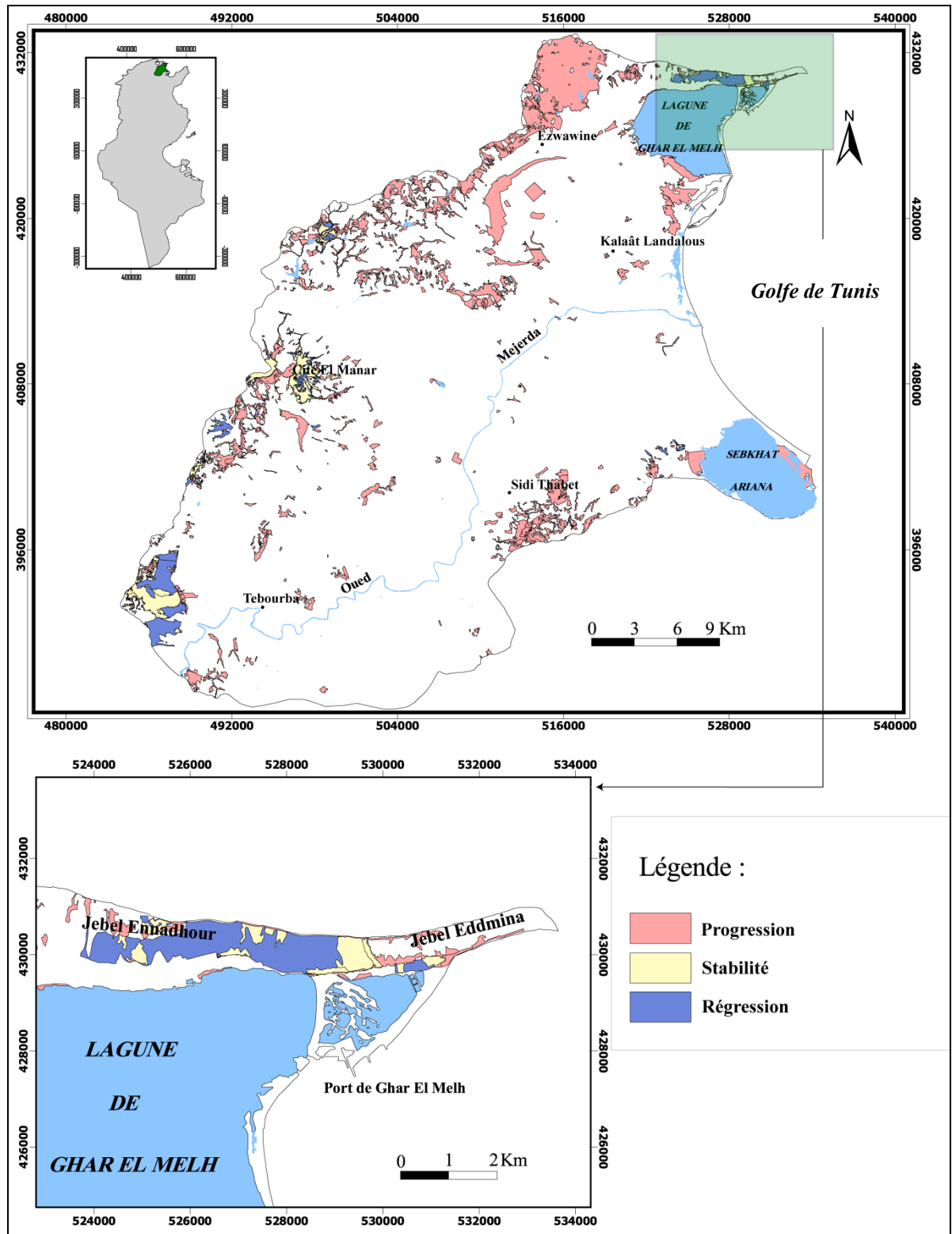


ill. n°50 : La dynamique de la végétation du domaine méditerranéen
(La carte de végétation de la Tunisie, GAMMAR A.M., 2002).

Ce matorral peut évoluer progressivement vers la restauration de la forêt méditerranéenne ou vers l'installation d'une végétation pré-forestière persistante. Cette évolution progressive de la végétation, de l'orme jusqu'au stade « forêt », représente encore un facteur essentiel et déterminant dans l'extension des étendues forestières depuis les années 1950. Cela, dépend du facteur temps. Cependant, il faut insister sur le fait que le concept d'« évolution », décrit une transformation sur une longue et par des tranches de temps relativement longues (ill. n°50).

1.3- Evolution des strates pré-forestières entre 1974 et 2007 :

La question de la dynamique de végétation nous a amené à voir les strates pré-forestières à savoir les broussailles, ainsi que les parcours naturels. Pour cela on a utilisé principalement les photographies aériennes pour caractériser ces formations. On a insisté beaucoup plus sur la période 1974-2007 et cela en fonction des documents disponibles (ill. n°51). En effet, les photographies aériennes de 1948-1949, ne couvrent pas la totalité de la zone d'étude. Les données bibliographiques consultées à la Direction Générale des Forêts (DGF), donnent des descriptions détaillées sur des périodes très tardives. L'illustration n°51, traduit une évolution très nette (couleur rougeâtre) de ces formations.

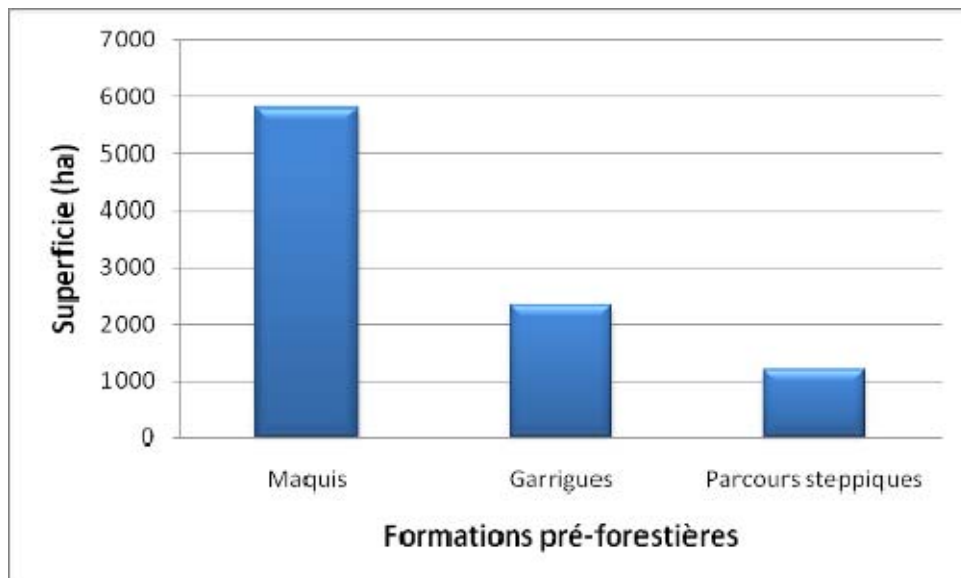


ill. n°51 : Evolution du couvert pré-forestier entre 1982 et 2007 (Cartes topographiques aux 1/25000, extraits Google Earth © 2007 au 1/5000 et travaux de terrain)

Le changement de l'échelle d'observation, montre une évolution négative surtout à Jebel Ennadhour. Cette dégradation est en réalité une évolution en strate forêt et c'est

toujours en relation avec la question de la dynamique de végétation (dans l'illustration n°49, les étendues dégradées sont occupées par des strates forestières).

Les calculs réalisés à l'aide du logiciel "Arc View" pour tout ce qui est broussailles (garrigue et maquis) et prairies naturelles (numérisées à partir des photographies aériennes de 1974) montrent une évolution positive très importante de ces formations entre 1974 et 2007. Le taux d'évolution est de l'ordre de 301 % (soient, 2987 hectares en 1974 et 11987.15 hectares en 2007. Le terme matorral englobe les appellations "garrigues" et "maquis" et désigne des forêts très dégradées (ENNABLI, 1989, in ABDALLAH H., 2007). En effet, l'illustration n°52, montre une domination des formations maquis par rapport aux garrigues et aux parcours steppiques.). La carte d'occupation du sol réalisée dans le cadre du projet INFOTEL nous a permis de faire une typologie et de caractériser les différentes formations pour l'an 2007.



ill. n°52 : Caractérisation des formations pré-forestières dans le delta de Mejerda
(Les surfaces sont calculées en utilisant les options du logiciel Arc View)

Les formations "garrigues arborées" (matorral haut) sont dominées par l'Eucalyptus et l'Oléastre, alors que celles "non arborées" (matorral bas), sont plutôt caractérisées par le Diss, le Romarin et le Ciste. Les formations "maquis arborés" sont dominées par le Pin Maritime, alors que celles "non arborés", sont dominées par le Calycotome.

La croissance de la superficie de ces formations entre 1974 et 2000 est le résultat de plusieurs actions pastorales, notamment, la création de plusieurs prairies artificielles, l'amélioration pastorale des clairières forestières avec l'introduction d'*Hedysarum Coronarium* (DGF, 1995). Cette intervention, fait partie aujourd'hui d'un programme

forestier dont l'exécution est confiée à l'Office de Développement de la Tunisie Septentrionale (ODTS).

La rotation des parcours a prouvé de bons résultats. Pour cela, depuis 1987, tous les plans d'aménagement forestier, ont prévu l'exploitation des parcelles ouvertes au pacage selon une rotation théorique bien conçue (El HAMROUNI A., 1985). Des modèles expérimentaux ont été testés pour quantifier l'impact du bétail sur les différentes formations. L'expérience a le mérite de montrer que la rotation des parcours conserve la végétation forestière, mais aussi elle la développe tout en augmentant sa production (El HAMROUNI et SARSON, 1975 in El HAMROUNI A., 1985).

1.4- Apport de la télédétection à l'étude de l'évolution du couvert forestier :

➤ *Comparaison des classifications et détection des changements :*

La détection des changements dans la classe thématique « forêt » est possible grâce à l'application des masques radiométriques. Cette technique nous a permis de croiser les couches thématiques « forêt » en utilisant les extensions disponibles dans l'IDRISI, notamment l'extension « CROSSTAB ». La démarche, ainsi qu'une fenêtre de résultat figurent dans la première partie (ill. n°35, 36 et 37).

Les calculs réalisés à travers le logiciel Arc View pour tout ce qui est formations forestières (couches vectorisées à partir des résultats du masque radiométrique) montrent une évolution entre 1988 et 1999. Le taux d'évolution est de l'ordre de 17.98 % (soient, 1426 hectares en 1988 et 1682.5 hectares en 1999). En comparant les résultats issus des traitements des images satellitaires à celles issus des couches SIG évoquées précédemment ; on remarque que l'évolution est significative, et c'est bien en même ordre global de l'évolution du couvert forestier entre 1982 et 2007 (presque 1981 hectares en 1982 et 2735.1 hectares en 2007). Et pourtant, il faut signaler que le décalage dans les dates de prise de vue des images constitue une lacune. En effet, ce décalage ne permet en aucun cas d'analyser et de suivre la végétation caducifoliée qui ne garde pas ses feuilles pendant les saisons froides.

➤ *L'indice de végétation 'NDVI' :*

L'indice de végétation NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), est un indicateur des états phénologiques de la végétation, et des variations inter et intra-annuelles (FRANCHOMME M., 2002). Il est influencé par les conditions climatiques,

à savoir l'état de l'atmosphère (humidité, particules solides...). L'indice de végétation se calcule par combinaison de comptes numériques R (bande spectrale du rouge) et PIR (bande spectrale du proche infrarouge), selon la formule :

$$\text{NDVI} = (\text{PIR}-\text{R}) / (\text{PIR}+\text{R}) \text{ soit, } (\text{XS3}-\text{XS2}) / (\text{XS3}+\text{XS2})$$

(En cas d'images Spot/XS)

L'indice de végétation constitue un seuillage appliqué à chaque image afin de la découper en deux groupes thématiques ; "végétation", "autres composantes que la végétation". Plus l'indice est proche de la valeur « 1 », plus il indique le groupe « végétation », (végétation en pleine activité chlorophyllienne) et vis versa. Les résultats obtenus (annexe I, ill. n°20 et n°21) sont toujours très influencés par ce décalage dans les dates de prise de vue des images satellitaires et même par les traitements de « 5S ». En effet, la fin de l'hiver se caractérise par une forte activité chlorophyllienne de toutes les formations végétales. Cela tient à l'abondance pluviométrique des mois de janvier et de février et en partie à la douceur des températures. L'activité photosynthétique est dépendante de la température, des précipitations et de l'ensoleillement (FRANCHOMME M., 2002).

Durant le printemps (au début de la deuxième décennie d'avril), les valeurs de l'NDVI de la forêt et de la zone céréalière chutent. La baisse de l'activité chlorophyllienne est corrélée au stress hydrique (faibles précipitations et température élevée) qui perdure de mai à septembre. L'NDVI, connaît alors ses valeurs les plus faibles (FRANCHOMME M., 2002).

2- Evolution du front littoral du delta : Les plages sableuses.

Sur le front oriental du delta de Mejerda, les plages sableuses s'étendent sur presque 15 km sans interruption. Seules quelques plages sont encore en état de stabilité.

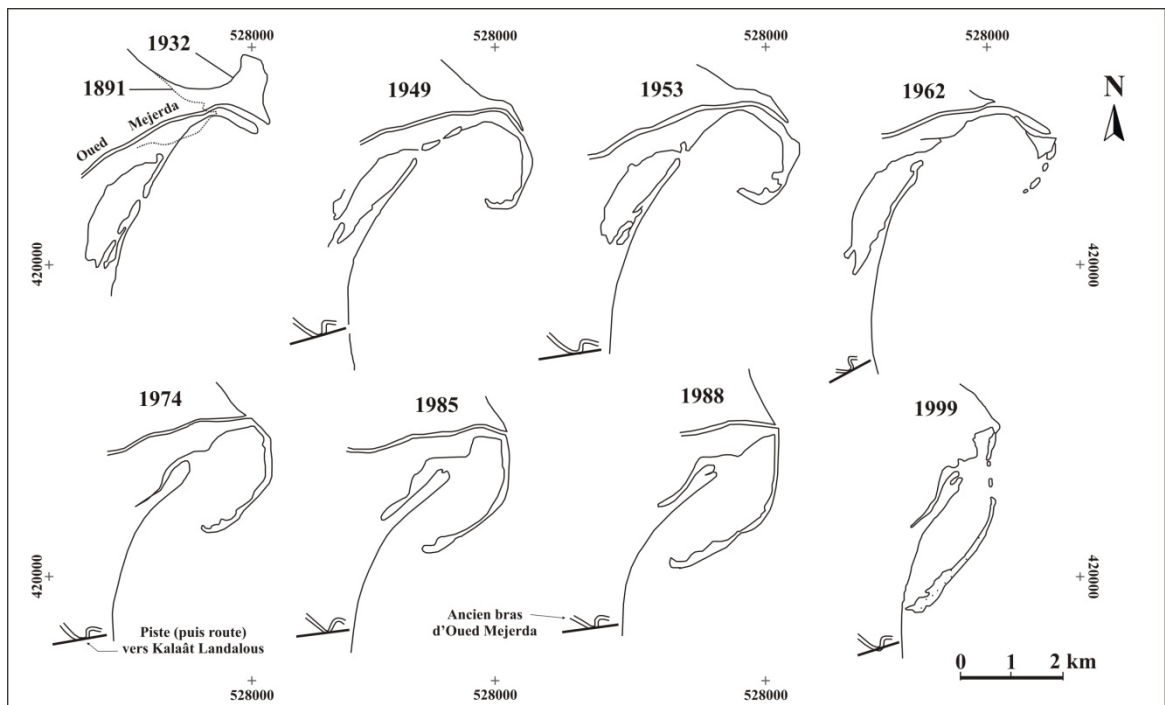
2.1- Foum El Oued : Une flèche en mobilité continue

Prenant son origine de l'ancienne embouchure d'oued Mejerda, pendant les années trente (PASKOFF R., 1978), la flèche sableuse de Foum El Oued, appelée encore « Eshila » par la population locale est en étroite liaison avec le changement continu du lit (oued Mejerda). Son aspect allongé et sa direction vers le Sud et le Sud Ouest témoignent de la direction de la dérive littorale (AYACHI S., 2004). La pointe de la flèche représente une forme en hameçon qui est le résultat de la diffraction de la houle autour de cette pointe.

La genèse et l'évolution de cette flèche ont fait l'objet de plusieurs études. Des publications antérieures (JAUZEIN A., 1971, PASKOFF R., 1978 et 1985) ont permis de suivre son évolution. Le travail d'El ARRIM en 1996 a également montré cette évolution et cette tendance de migration vers le continent.

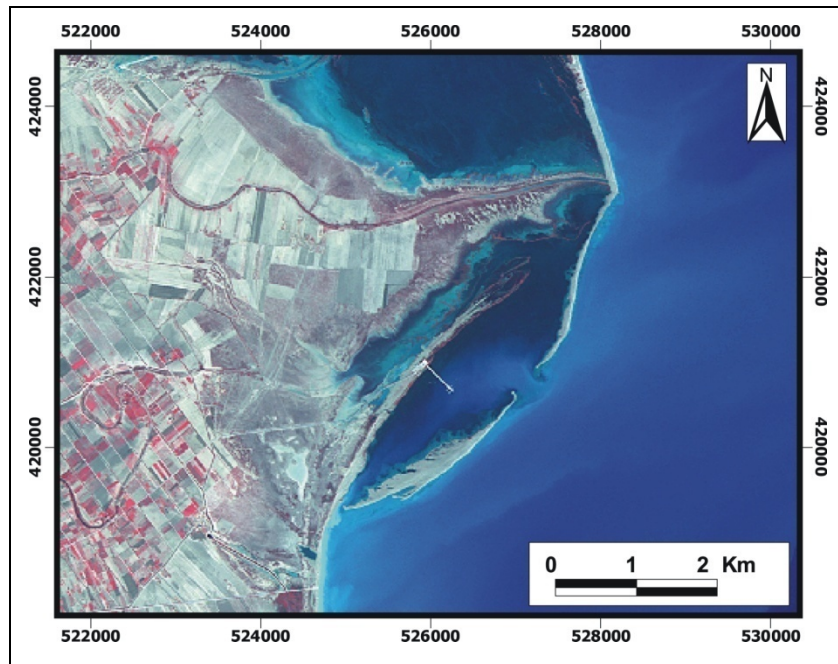
A la fin du XVIII^{ème} siècle ou au début du XIX^{ème} siècle, l'Oued Mejerda a migré à l'occasion de sa grande crue, son ancienne embouchure dans la lagune de Ghar El Melh et a migré vers le Sud Est de cette lagune (PASKOFF R. & TROUSSET P., 1992). L'apport solide d'Oued Mejerda a eu comme conséquence l'extension de sa plaine au dépend de la mer. La première édition de la carte topographique de Porto Farina à l'échelle 1/50000, éditée et publiée en 1891, fait apparaître une embouchure en forme de bec légèrement dévié vers le Nord (PASKOFF R., 1978). Cette situation s'explique par les effets de la houle du Sud-Est.

Alors que cette embouchure est encore protégée de la houle du Nord-Est (avancée de la mer du Ras Ettarf : Cap Farina), (ill. n° 53), la deuxième édition de la carte topographique de Porto Farina au 1/50000 publiée en 1932, montre une évolution assez remarquable de l'embouchure de Foum El Oued.

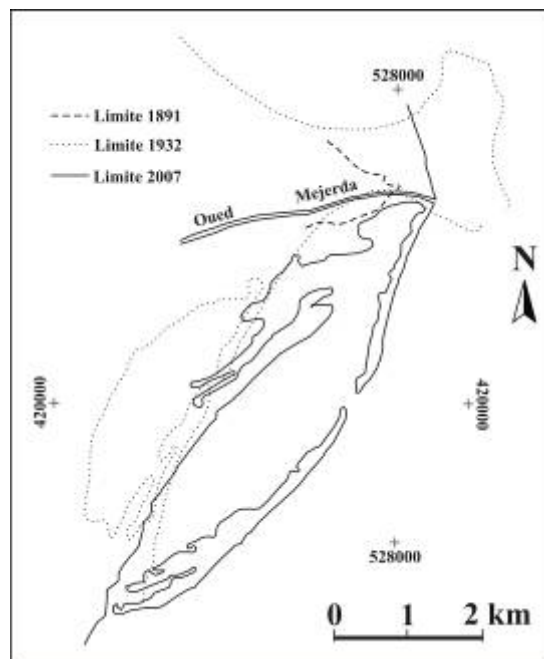


ill. n°53 : La flèche de Foum El Oued : plus d'un demi-siècle d'évolution. (PASKOFF. R., 1978 ; OUESLATI A., 2004 : document repris et modifié)

L'embouchure de Foum El Oued, présente une forme en éventail (ill. n° 53), alimentée par l'accroissement de la sédimentation qui est en relation avec les premiers travaux d'aménagement de la basse vallée de Mejerda, Surtout le recalibrage et les endiguements du lit. Les aménagements ont eu comme effet la diminution des débordements d'où l'accroissement du volume des apports solides à l'embouchure.



ill. n°54 : La situation de la flèche de Foum El Oued en 2002
(Image Spot/XS, 2002, ISIS- CNES©)



ill. n°55 : La flèche de Foum El Oued : plus d'un siècle d'évolution
(PASKOFF. R., 1978 ; OUESLATI A., 2004 et extraits d'images Google Earth 2007 © : document repris et modifié)

PASKOFF R. a montré à travers la première photographie aérienne prise en 1948 que l'ancien éventail a connu une érosion dans sa partie Nord-Est et donc l'apparition d'une flèche à pointe libre, longue de 2 Km et à 2 Km du trait du rivage. L'extrémité de cette flèche est recourbée vers l'Ouest sous l'effet de la réfraction et de la diffraction des houles (PASKOFF R., 1978). Ce changement a été causé par la création de l'émissaire de Henchir Tobias en 1932. Cet ouvrage est destiné à désengorger la Mejerda pour réduire les risques d'inondations. Par ailleurs, les premiers barrages du bassin versant de Mejerda (Mellègue, Laroussia, Beni Mtir, Sidi Salem...) avaient réduit à leur tour la charge solide de l'Oued en piégeant les sédiments dans leurs retenues.

De 1935 à 1964, la flèche sableuse a évolué vers une forme de bec crochu, allongée vers la plage avec une migration à une vitesse moyenne de l'ordre de 40 m/ans (OUESLATI A., 2004). Lors des crues de mars 1973, l'oued Mejerda avait recouru à un changement de lit choisissant le canal de Henchir Tobias comme exutoire. La flèche n'est plus alimentée par l'apport alluvial d'oued Mejerda. Par conséquent, elle a connu une évolution assez rapide. Elle finit par devenir un cordon mince et allongé qui se rabat vers l'Ouest.

L'évolution de cette flèche s'est accélérée suite à la construction du port de Ghar El Melh en 1974. Les jetées de l'avant port ont bloqué et piégé une partie des sédiments sableux apportés du Nord par la dérive littorale. La flèche n'étant plus alimentée, sa fixation au continent n'est plus assurée sous l'action des vagues. L'illustration issue de l'image satellitaire de 1999 (Spot/XS, ill. n°53), indique une rupture et cicatrisation de cette flèche avec l'apparition de deux cordons parallèles courbés.

L'image Spot de 2002 et l'illustration issue de l'image Google Earth de 2007 (ill. n°54 et n°55), nous montrent que cette rupture a migré vers le Sud par rapport à la situation de 1999. Une migration en parallèle avec la migration du cordon sud de la flèche et de sa pointe. Sur le terrain on a remarqué en juin 2007 que la pointe du flèche est à presque 35 m du rivage contre 50 m en 2003 (OUESLATI A., 2004).

L'extrait de l'image Google Earth 2007 (Google Earth 2007 ©), montre une transformation assez remarquable. L'extrémité de la flèche s'est divisée en deux cordons parallèles de direction Nord-Est Sud-Ouest. La pointe du cordon sud est à presque 35 m du rivage (photo n°9), celle du cordon nord est à presque 60 m du rivage.

L'évolution de cette flèche s'est faite à différentes vitesses. Comme on a déjà dit, la vitesse moyenne de migration de cette flèche (et surtout sa pointe) est de l'ordre de 40 m/an, entre la moitié du XX^{ème} siècle et l'année 2003 (OUESLATI A., 2004).



Photo n°9 : La pointe sud de la flèche de Foum El Oued : Une position à presque 35 m du rivage.

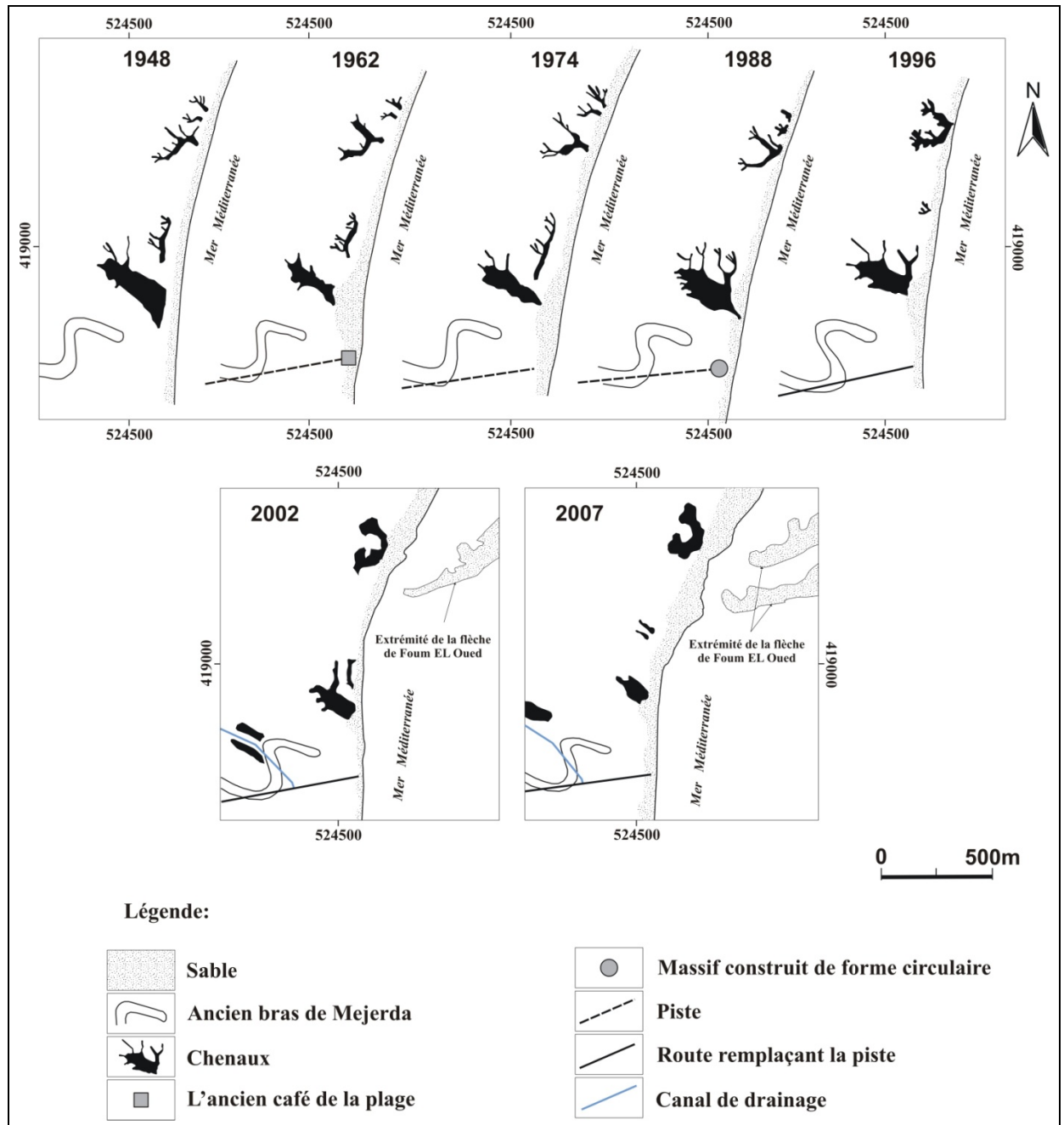
Au milieu de cette période la vitesse de migration a beaucoup changé. Au cours des périodes 1962-1974, 1974-1985 et 1985-1993, la vitesse de migration est passée respectivement de 87 m/an à 60 m/an et à 88 m/an (EL ARRIM, 1996 in OUESLATI A., 2004).

Ces dernières années, la vitesse de migration est devenue très faible. La pointe de la flèche était à presque 50 m du rivage en 2003 (OUESLATI A., 2004) et à presque 35 m en juin 2007, soit 3,7 m/an, comme vitesse moyenne de migration. L'observation de la flèche de Foum El Oued à l'aide des différentes données qui sont à notre disposition indique une tendance vers la fermeture et vers la formation d'une presque lagune « la lagune de Foum El Oued ».

2.2- La plage de Kalaât Landalous : un milieu un peu partout en voie d'érosion.

La plage de Kalaât Landalous est délimitée au Nord par la lagune de Foum El Oued, au Sud par sebkhat Sidi Bahroun. Cette plage est un peu partout en voie d'érosion (OUESLATI A., 2004). A travers les différents indices de recul cités par OUESLATI, on assiste à un recul du trait de côte plus au moins important.

OUESLATI, a remarqué aussi que le recul du rivage a été plus rapide que l'adaptation de la végétation. Les aménagements qui avaient été construits au bord de la mer ont disparu pour certains. OUESLATI, indique la disparition d'un café construit à 37,5 m (ill. n°56), observable sur la photographie aérienne n°28 de 1962 (VII/12) (in HABANE A., 2004). La position du café a été dépassée par le trait de côte depuis au moins une quinzaine d'années. Un local qui a été construit par les agents de la protection civile a été aussi détruit et dépassé par le trait de côte (OUSLATI A., 2004 in HABANE A., 2004).



ill. n°56 : La plage de Kalaât Landalous : soixante ans d'évolution (OUSLATI A., 2004 ; Image Spot/XS, 2002-Spot images CNES© et extraits d'images Google Earth 2007 © : Document repris et modifié).

Afin d'abriter les agents de la protection civile, un second local a été construit par prudence un peu plus loin du rivage (ill. n°56). Ce local a été affouillé à la base et détruit pendant l'hiver 2003.

Plusieurs autres indices notamment la route qui mène à Kalaât Landalous (photo n°10) font la preuve de ce recul continu de la ligne de rivage. Les sédiments du bas de plage sont alors emportés par les vagues vers l'avant plage et se perdent au large (AYACHI S., 2004). A travers deux images satellitaires (Spot Images – CNES©), HABANE A. (2004) a estimé que la plage de Kalaât Landalous, a perdu entre 1988 et 1999 presque 180 hectares de sédiments.

A travers une image satellitaire Spot qui date de 2002 (Spot Images – CNES©) et un extrait d'image Google Earth 2007 (Google Earth 2007 ©) on a constaté par des calculs sous SIG (Arc View) que la superficie de la plage a perdu encore presque 155 hectares. On peut ajouter la fragilisation de ces plages fréquentées pendant l'été dont la végétation est piétinée ce qui limite son rôle de fixation (BOUHAFI T., 1985). Le recul du rivage peut perturber le système des garaâs et sebkhas présentes derrière la plage de Kalaât Landalous et qui sont encore en état de stabilité.



Photo n°10 : La route de Kalaât Landalous est attaquée par les vagues et représente ainsi un indicateur d'ordre anthropique qui témoigne du recul du trait de côte.

Vers le Nord, au niveau de la pointe de la flèche de Foum El Oued. En décembre 2003⁽⁴⁾, OUESLATI a constaté que la plage est en état d'engraissement et cela grâce à la protection que constitue la flèche contre le déferlement des vagues (ill. n°56 : comparaison de la situation de 2002 et de 2007).

2.3- La nouvelle embouchure de l'oued Mejerda :

A la nouvelle embouchure de l'oued Mejerda, la plage montre une extension remarquable, une évolution appréciable et une tendance au gain de terrain au dépens de la mer (OUESLATI A., 2004). L'étude et le suivie de la transformation du littoral de part et d'autre de la nouvelle embouchure sont possibles à travers la comparaison de plusieurs données (photographies aériennes, cartes topographiques et images satellitaires) à différentes dates.

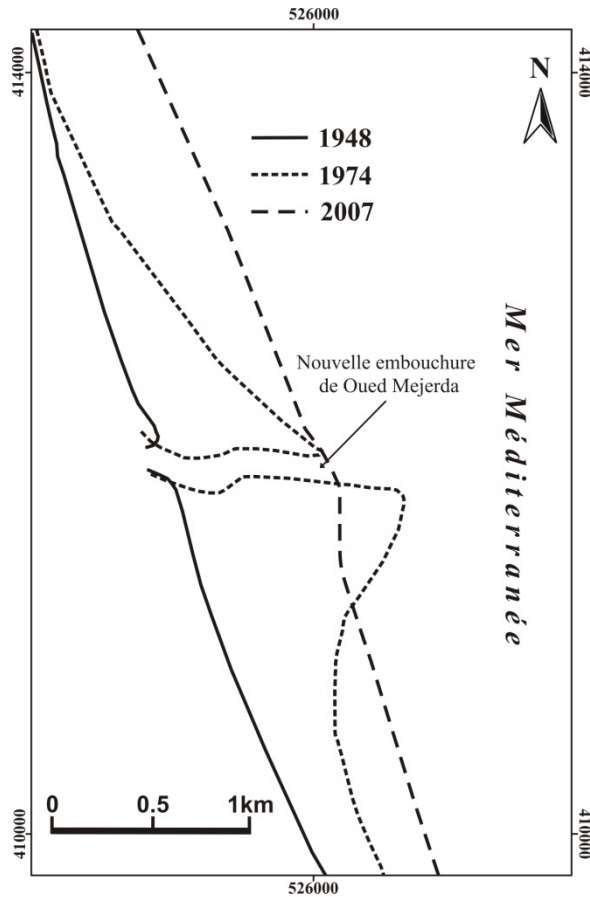
Jusqu'en 1948, le rivage a représenté une vaste courbe concave de la plage de Kalaât Landalous jusqu'à la plage de Raoued vers le Sud, qui n'était pas encore perturbée. L'évolution du trait de côte au niveau de la nouvelle embouchure de l'oued Mejerda, indique une accélération du colmatage. Ce phénomène se dégage sur les photographies aériennes de 1962 (PASKOFF R., 1985 in HABANE A., 2004). Cette extension aux dépens de la mer s'est accélérée par la mise en marche du canal de dérivation qui assure une partie de la charge solide de l'oued Mejerda. La vitesse d'évolution et d'extension a baissé avec l'existence des barrages en amont du bassin versant de l'oued Mejerda et avec la création des canaux secondaires qui sont branchés sur le canal principal. Ces ouvrages conduisent les eaux de crues vers des dépressions pour assurer leur colmatage, puis leur mise en culture, par la méthode des casiers (PASKOFF R., 1978).

La crue de 1973 a beaucoup modifié le paysage dans le delta, entre autre, elle a changé tout le débit de l'oued vers la nouvelle embouchure, avec des eaux très chargées (100g/l) (PASKOFF R., 1978). La photographie aérienne de 1974 témoigne de l'extension rapide de l'exocroissance (ill. n°57). Des bandes sableuses sont formées à 50 m du rivage et préfigurent le développement d'une flèche semblable à celle de Foum El Oued.

EL ARRIM (1996), ajoute que l'avancée positive du rivage est de l'ordre de 800 m de 1948 à 1974, soit avec une moyenne de 30 m/an (in OUESLAT A., 2004). La vitesse d'avancée du rivage a continué avec un rythme moins rapide (26 m/an) ce qui a permis le gain de presque 270 m entre 1977 et 1987 (EL ARRIM, 1996 in OUESLATI A., 2004).

⁴ : Lors d'une sortie de terrain dans le cadre du projet de coopération universitaire CMCU n°03GO203.

La vitesse d'évolution s'est baissée encore en 2002, et même en 2007 et cela est dû essentiellement à l'effet des barrages.



ill. n°57 : La nouvelle embouchure de l'oued Mejerda : plus d'un demi siècle d'évolution (photographies aériennes de 1948 et 1974 et des extraits d'images Google Earth 2007 ©)

2.4- La Plage de Raoued :

Située à l'extrémité Sud-Est du delta de Mejerda, la plage de Raoued représente un cas exceptionnel en termes de fragilité et d'aménagement. Elle reste malgré les différentes interventions en état d'abri. Jusqu'en 1970, la partie centrale (secteur de Khouiter), constitue une dizaine de constructions avec l'hôtel Touring dans la partie orientale (OUESLATI A., 2004).

La partie occidentale représente la plage publique de Raoued, avec des tronçons de rivage qui ne sont pas encore envahies par les constructions. La partie occupée, constitue des résidences secondaires et des services orientés aux estivants. Généralement, les constructions se sont multipliées de part et d'autre de la route parallèle au rivage. Plusieurs de ces constructions qui se trouvent à l'Est de la route, sont installées sur une position très avancée vers la mer et constituent une menace pour l'équilibre de l'écosystème de la plage.

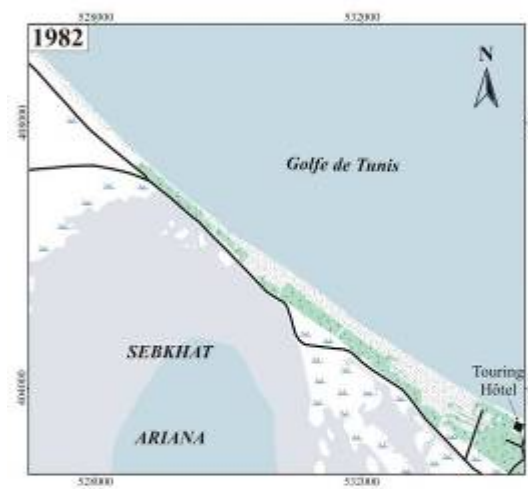
A l'Ouest de la route, les constructions envahissent des terres humides et sont menacées par la remontée de la nappe phréatique et d'inondations (photo n°11). La partie orientale de la plage se caractérise par une variation de largeur, qui dépasse parfois 150 m. Tandis que celle occidentale a connu des aménagements (légaux) qui sont récents et qui appartiennent à une zone touristique (hôtel, Phébus, hôtel Renaissance, hôtel Nova Park, hôtel Molka...)



Photo n°11 : Plusieurs constructions à Raoued sont installées sur une nappe affleurante.

Ces unités hôtelières ont respecté le Domaine Public Maritime (DPM). Seul l'hôtel Carthage Thalasso représente une menace pour la plage. Par ailleurs, les buvettes, les bars-restaurants et les terrasses sont installés sur la crête dunaire (OUESATI A., 2004) et contribuent au déséquilibre des échanges naturels entre les différentes composantes de la plage. Cette dernière a connu une érosion qui ne dépasse pas actuellement quelques mètres.

L'examen d'un extrait d'une image Google Earth (Google Earth 2007 ©), nous a montré que la plage de Raoued a accueilli encore des installations surtout dans sa partie occidentale (ill. n°58).



Légende:

	Piste		Végétation aquatique
	Route remplaçant la piste		Sable
	Constructions		Eau permanente
	Forêt d'Eucalyptus		Eau non permanente

ill. n°58 : La plage de Raoued : une évolution assez remarquable après les années 1980.
(Cartes topographiques au 1/50000 et au 1/25000 et extraits d'images Google Earth 2007 ©)

Généralement, on peut dire que la plage de Raoued est encore en position d'abri, situation favorisée surtout dans sa partie occidentale par un apport alluvial important assuré par la nouvelle embouchure de l'Oued Mejerda. L'équilibre de la plage ne tiendra pour autant face à l'extension urbaine rapide à Raoued.

2.5- Les plages de Sidi Ali El Mekki et de Chatt El Hay : L'aménagement portuaire et son impact sur leur évolution.

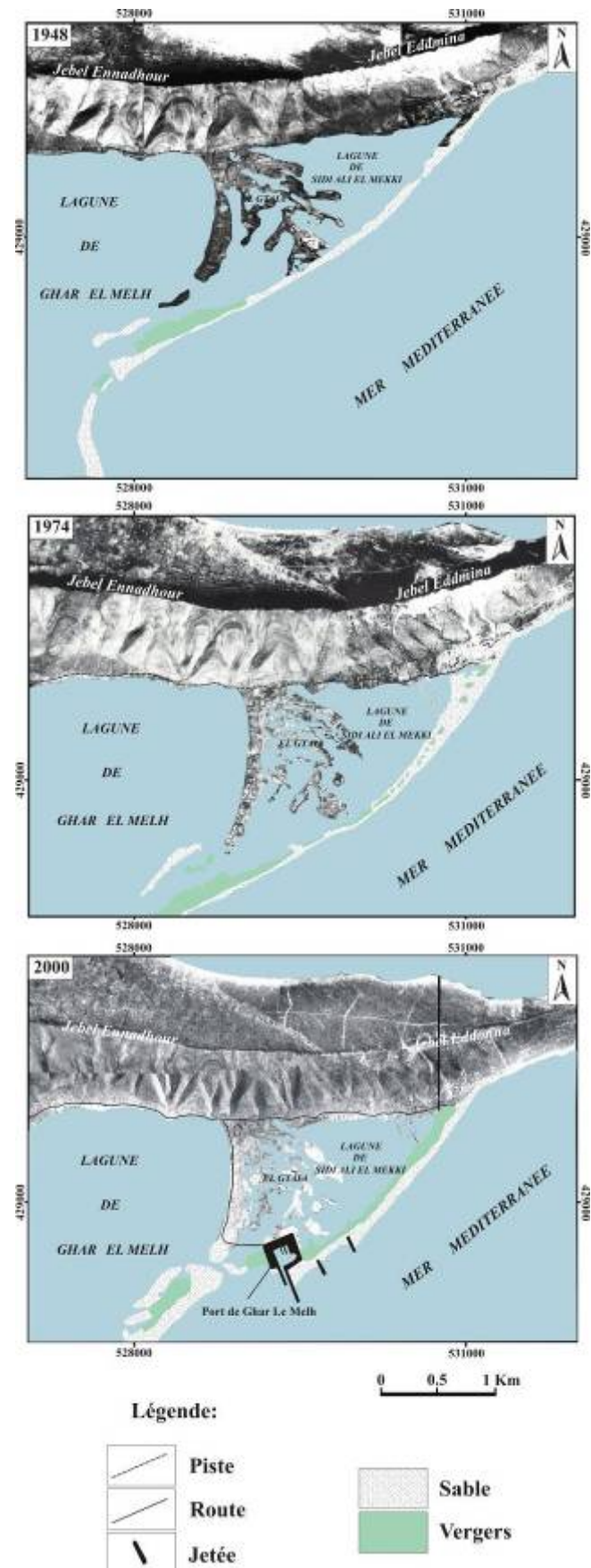
Le cordon littoral qui sépare la lagune de Sidi Ali El Mekki de la mer est formé essentiellement par une plage qui porte le même nom (Sidi Ali El Mekki) et par la plage de Chatt El Hay. Ces deux plages apparaissent sur les photographies aériennes de 1962 et de 1974 (prise de vue avant l'installation du nouveau port de Ghar El Melh) sous forme d'une bande étroite de 3 km.

Avec le changement du lit de l'oued Mejerda, l'activité de pêche a connu une diminution remarquable. Face à cette situation, l'Etat a aménagé un site portuaire sur l'extrémité sud de la plage de Chatt El Hay. Ce port est formé d'un petit bassin de 200 m de largeur et de 3 m de profondeur (OUESLATI A., 2004). La communication du port avec la mer a été assurée par un canal de 40 m longé par deux jetées de 200 m et 300 m.

Suite à la réalisation de ce port, la plage de Chatt El Hay a connu un engraissement important avec un rythme qui dépasse parfois 20 m/an, soit 70 m de 1978 à 1991 (El ARRIM, 1996 in OUESLATI A., 2004) L'accumulation du sable au Nord du port a atteint un seuil critique et bloque l'entrée du port, suite au comblement total de la jetée principale. Le recours à des compagnies de dragage et à la mise en place de deux autres jetées vers le Nord a été une nécessité. Ces jetées ont subi la même conséquence et sont en grande partie, comblées par les sédiments (AYACHI S., 2004).

Au Sud du port, la situation est assez différente. La plage a connu une érosion remarquable de l'ordre de 90 m à 100 m entre 1976 et 1978 (El ARRIM, 1996 in OUESLATI A., 2004). Jusqu'au début des années 1990, le recul a été de l'ordre d'une dizaine de mètres par an. L'allongement de la jetée au Nord-Est pour protéger le port, a eu pour conséquence le recul de la plage vers le Sud-Est, la disparition des parcelles agricoles (vergers) et la cicatrisation du cordon qui assure l'échange entre la lagune et la mer (ill. n°59). Cette situation, soulève la question de maritimisation de cet écosystème.

Le front oriental du delta de Mejerda se caractérise par une vitesse d'évolution assez remarquable. La plupart des plages qui le constitue est en état d'érosion.

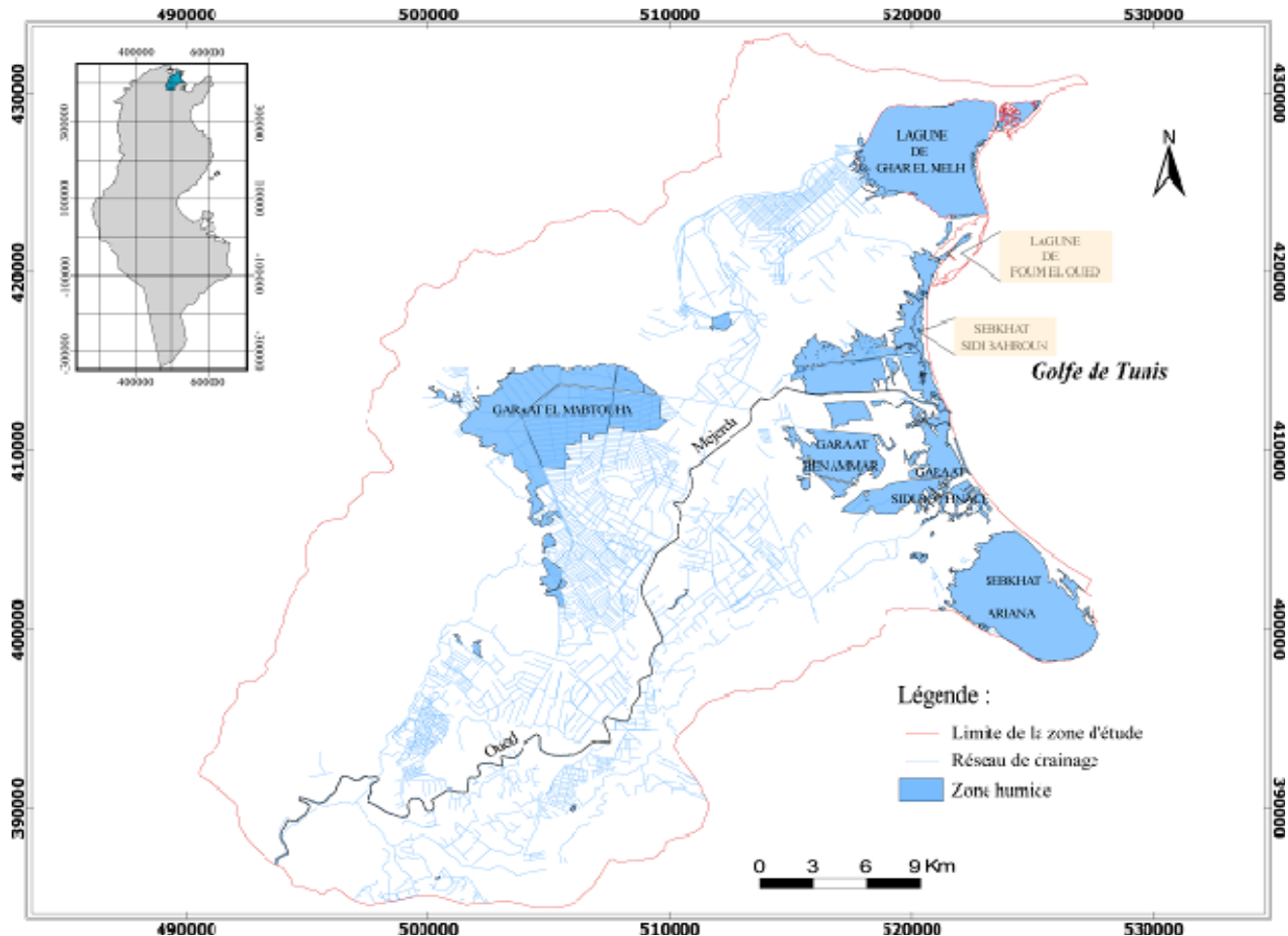


ill. n°59 : Les différents changements de la plage de Sidi Ali El Mekki et de Chatt El Hay suite, à la réalisation du port de pêche en 1974 (photographies aériennes de 1948, 1974 et 2000).

3- Evolution des zones humides :

Les zones humides représentent un intérêt majeur pour l'eau, la régulation des hydro-systèmes et en particulier des crues. Ils participent à la protection des rivages. La construction d'une base de données géoréférencées (intégrant des cartes topographiques, des photographies aériennes et des images satellitales), nous a permis d'élaborer des synthèses illustrant l'évolution de la morphologie des zones humides ainsi que l'occupation du sol tout autour.

Le delta de Mejerda regroupe un nombre assez varié d'espaces humides (ill. n°60) qui diffèrent selon les caractéristiques biochimiques, les échanges avec le milieu marin et leur position dans leur bassin versant. Ces critères nous amène à distinguer entre les zones humides côtières ou marines et les zones humides continentales.



ill. n°60 : Dominance des zones humides dans le centre et dans le littoral du delta de Mejerda (cartes topographiques au 1/25000).

3.1- Evolution des zones humides côtières :

3.1.1- Le complexe lagunaire de Ghar El Melh : le bonheur des uns...

L'évolution de la morphologie du complexe lagunaire de Ghar El Melh a fait l'objet de plusieurs études (PIMIANTA, 1959 ; JAUZEIN, 1971 ; PASKOFF, 1978 et 1985 ; OUESLATI, 1993 ; EL ARRIM, 1996 ; AYACHI, 2004). La lagune de Ghar El Melh représente en fait un complexe qui couvre une superficie de 30,2 km². Elle appartient à une côte basse d'accumulation et elle est composée de trois unités (ROMDHANE M.S., 1985 in AYACH S., 2004) :

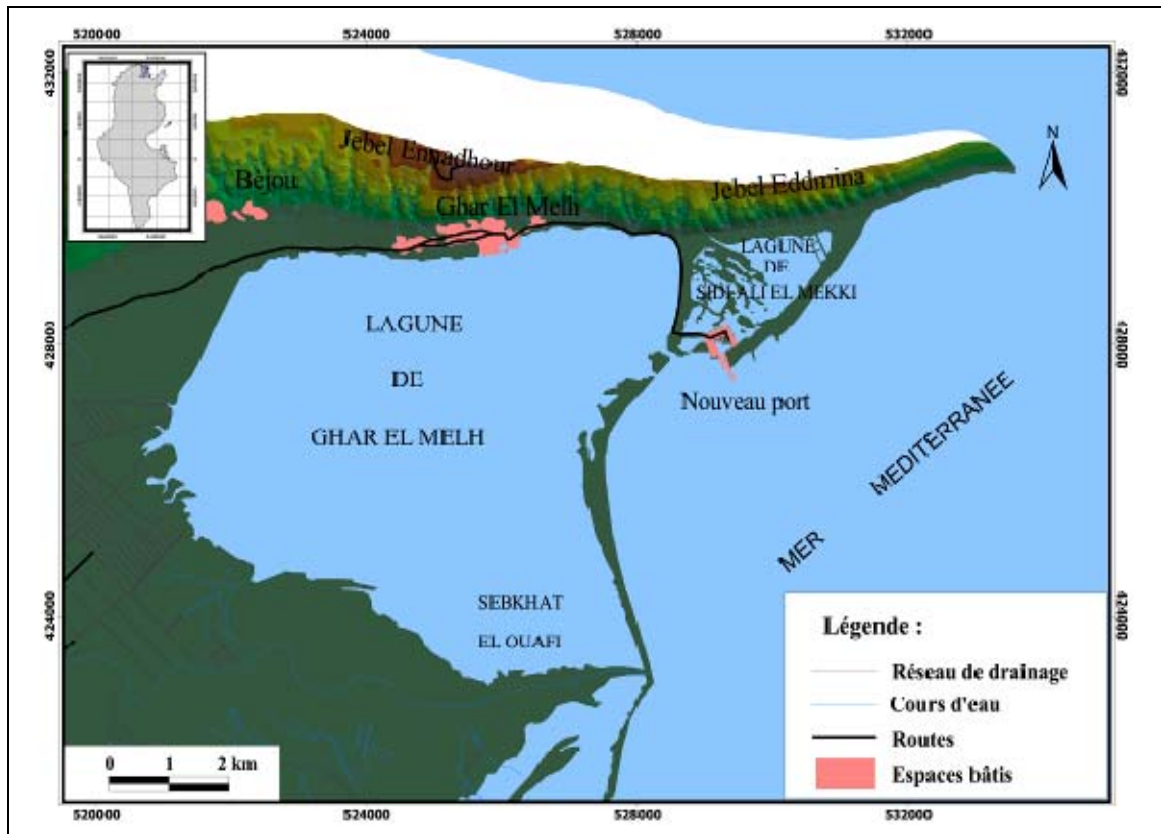
- La lagune principale appelée au niveau locale « El Bhira ». Elle est de forme elliptique et couvre une superficie de 25,5 km².
- La lagune de Sidi Ali El Mekki, située à l'extrémité Nord-Est du complexe lagunaire. Elle est de forme triangulaire, séparée de la lagune principale par la route qui relie le nouveau port de pêche à Ghar El Melh. Sa superficie est de 2,5 km².
- La Sebkhate El Ouefi, appelée au niveau local « Koukou », couvrant la partie sud du complexe lagunaire et s'étend sur 2,2 km².

Le complexe lagunaire de Ghar El Melh se situe, à l'extrémité Nord Est de la Tunisie. Il est dominé par Jebel Ennadhour du côté septentrional. A l'Ouest et au Sud, le complexe lagunaire est bordé par des terrains marécageux (OUESLATI et al., 2006). Du côté oriental, les lagunes sont séparées de la mer par un cordon littoral assez large (ill. n° 61).

Avec le changement du lit d'oued Mejerda, depuis 1973, la majorité des eaux de la lagune provient des pluies grâce à de nombreux cours d'eaux, notamment ; oued Tarfa, oued El Kherba, oued Nechma, oued Bou Razem (GUERFI N., 2000). Les eaux de l'oued Mejerda n'y parviennent qu'aux cours des rares crues exceptionnelles.

La bathymétrie de la lagune de Ghar El Melh varie entre 0,2m et 3,8m, avec une moyenne de 2,5 m (MOUSSA et al., 2005, in OUESLATI et al., 2006). L'analyse de l'évolution du complexe lagunaire de Ghar El Melh, nécessite, la prise en compte des différentes pressions qu'il a subi. En effet, tout changement est le résultat de la conjonction de plusieurs facteurs naturels et surtout anthropiques. Par rapport au reste du complexe lagunaire, la partie orientale est la plus perturbée. C'est avec l'installation du nouveau port de Ghar El Melh en 1974, qu'il y a eu des perturbations sédimentaires et régression des vergers (voir l'analyse et l'illustration n°59 montrant l'évolution de la plage de Chatt El Hay).

Les aménagements industriels à Utique et à Ghornata, l'intensification des activités agricoles, avec l'usage abusif des engrais chimiques, des pesticides et des insecticides et les rejets de la ville de Ghar El Melh ont beaucoup dégradé la qualité de la lagune. Le déclin de l'activité de pêche peut être le résultat de l'eutrophisation de la lagune. Cet écosystème a subi aussi l'impact des polders et des Gtaïas qui sont gagnés sur la rive Nord de la lagune de Ghar El Melh et au milieu de la lagune de Sidi Ali El Mekki (ce thème est développé dans le chapitre qui suit).



ill. 61 : Le complexe lagunaire de Ghar El Melh : Localisation et délimitation (Modèle Numérique d'Altitude, carte topographique de Ghar El Melh N.E. au 1/25000)

3.1.2- La lagune de Foum El Oued :

La formation de la lagune de Foum El Oued est en relation directe avec le changement de l'embouchure de l'oued Mejerda, et la migration de sa flèche vers le continent. Cette nouvelle lagune a connu une évolution simultanée à l'évolution de son cordon littoral (flèche).

La formation de cette lagune a perturbé les activités du port de pêche de Kalaât Landalous construit en 1990. L'accès à ce dernier est devenu impossible, sauf pour quelques barques à fond plat. La diminution de l'activité du port est en relation avec une décroissance

de plus en plus grave de la bathymétrie de la lagune. Les cylindres en béton installés après la construction du port témoignent de ces difficultés et représentent des indicateurs de la zone la plus profonde de la lagune (AYACHI S., 2004).

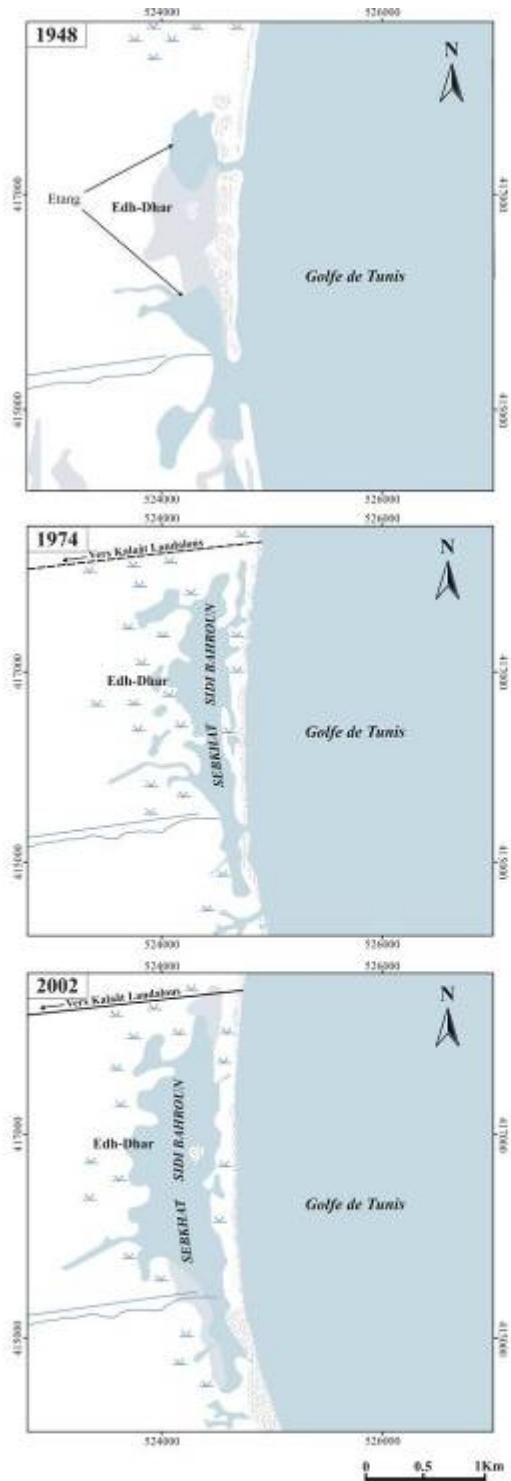
La flèche de Foum El Oued tend de plus en plus à se coller au rivage. Le sable arrive à atteindre les cylindres en béton. En 2007, la pointe de la flèche la plus proche du continent est presque de 35 m. L'extension de cette flèche n'est pas toujours visible, car elle évolue aussi sous l'eau et se rapproche de plus en plus du rivage. Par ailleurs, la rupture qu'on a pu saisir à partir de l'image Spot 1999 (Spot images – CNES) et de l'extrait de l'image Google Earth (2007), nous ont conduit à constater qu'il serait possible dans les années qui viennent, que le port de Kalaât Landalous, reprend ses activités comme avant, grâce à cette rupture qui va servir au fur et à mesure comme un nouveau passage (AYACHI S., 2004).

3.1.3- La sebkha de Sidi Bahroun :

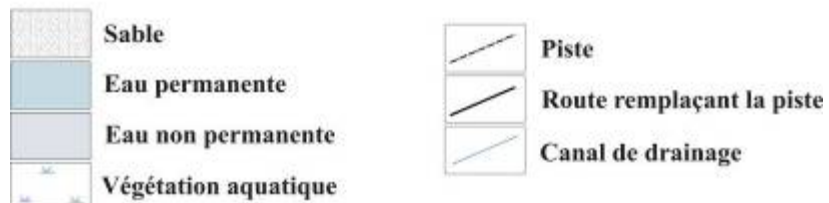
La sebkha de Sidi Bahroun couvre une superficie de l'ordre de 107 hectares. Elle est séparée de la mer, par un cordon plus ou moins épais. La hauteur de ce cordon varie de 1 à 3 m, avec une largeur qui peut atteindre 300 m (AYACHI S., 2004). Sa partie est, correspond à une plage sableuse, alors que celle en Ouest est occupée par des dunes d'argiles, dont la formation est liée à l'action du vent. La sebkha de Sidi Bahroun constitue avec la lagune de Ghar El Melh et la sebkha de l'Ariana, des particularités de la côte basse du delta de Mejerda.

La cartographie de l'évolution de sebkhat Sidi Bahroun est possible à partir de l'exploitation de différents documents constituant notre base de données SIG. En se basant sur les différents travaux qui se sont intéressés au traçage de la cinématique du delta de l'oued Mejerda (PIMENTA, 1959 ; JAUZEIN, 1971 ; MANSOURI, 1979 ; PASKOFF, 1978, 1985 ; OUESLATI, 1993, 2004 ; El ARRIM, 1996 ; AYACH, 2004 ; HABANE, 2004), on peut dire que la sebkha de Sidi Bahroun ne s'est formée qu'après l'Antiquité.

OUESLATI A. a indiqué en 1993, que les conditions topographiques (surtout la faible pente), ont favorisé la naissance de cette sebkha. C'est à partir de l'accumulation des eaux de ruissellement et par les eaux de précipitations au cours des saisons pluvieuses, que la sebkha se forme. En effet, ce phénomène a engendré la formation de petits étangs d'eau (ill. n°62) entre les anciens cordons littoraux et les petites dunes éoliennes d'argile fixées par la végétation halophile (AYACHI S., 2004).



Légende:



ill. n°62 : Evolution de la morphologie de sebkhat Sidi Bahroun entre 1948 et 2002. (Photographies aériennes de 1948 et de 1974 et l'image Spot/XS 2002, ISIS-CNES)

Pendant la saison estivale et sous l'action de l'évapotranspiration, ce milieu devient privé de ses eaux. Ainsi, par déflation, le vent approfondit la surface ce qui a entraîné, l'élargissement, l'extension et la réunion en un seul étang d'eau (AYACHI S., 2004). Au cours du vingtième siècle, et suite aux différentes inondations qui ont eu lieu, la morphologie de sebkhat Sidi Bahroun a beaucoup changé (ill. n° 62).

3.1.4- Evolution de la sebkha de l'Ariana :

La sebkha d'Ariana se situe au Sud Est du delta de Oued Mejerda qui était à l'origine un golfe peu profond, comblé ensuite par les alluvions (JAUZEIN, 1971 et MANSOURI, 1979 in BABBOU A. Ch. et al., 2006). L'oued Mejerda, joue un rôle fondamental dans l'histoire du bassin versant de sebkhat Ariana (la sebkha représente l'une des anciennes embouchures de l'oued Mejerda).

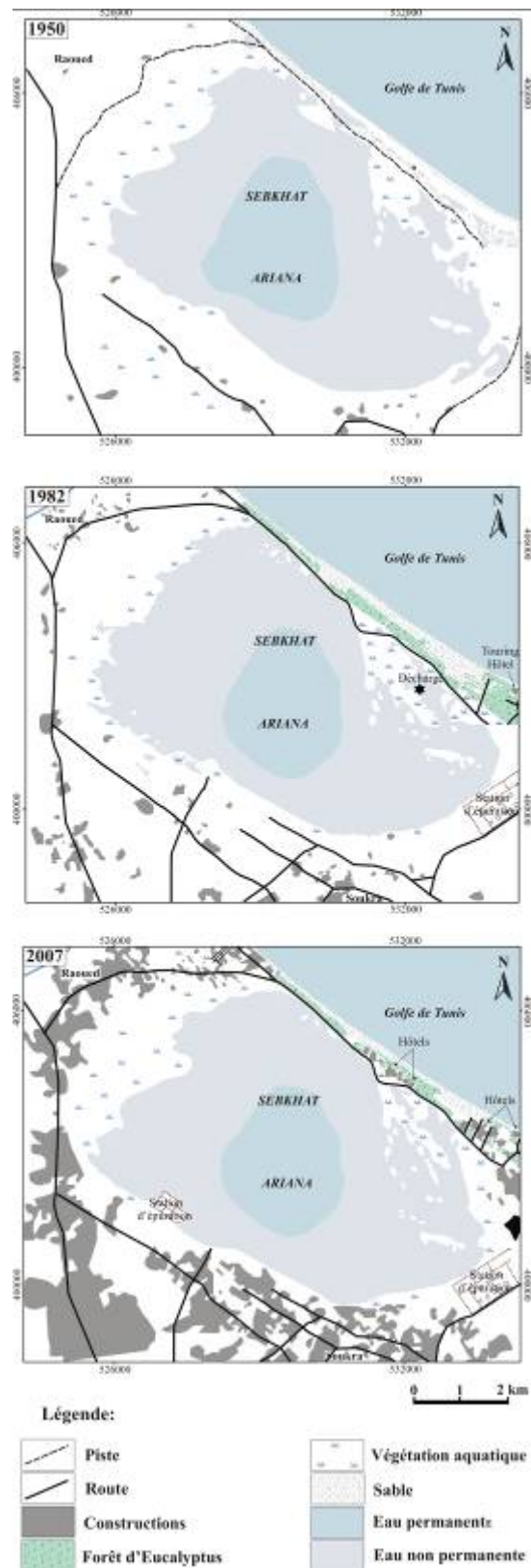
Par rapport au Grand Tunis, le système de sebkhat Ariana se situe au Nord. Il est limité au Sud Est par les collines de Gammart, la Marsa et Sidi Bou Saïd. Au Sud, par le lac de Tunis et à l'Ouest par l'alignement de Jebel Nahli-Sidi Amor (SFAR FALFOUL F., 1998). Elle est limitée à l'Est par un cordon littoral qui va de la nouvelle embouchure de l'oued Mejerda jusqu'au Cap Gammart.

La sebkha, couvre une superficie de l'ordre de 3522 hectares, elle est de forme ovoïde, de direction Nord-Ouest Sud-Est. La région de la sebkha est caractérisée par un climat méditerranéen semi-aride. En effet, elle reçoit entre 400 et 500 mm par an. La température annuelle moyenne, varie entre 10°C et 30°C (I.N.M., 2003).

Plusieurs études antérieures (PIMENTA, 1959 ; JAUZEIN, 1971...), ont déjà qualifié la sebkha de paralique. En effet, cette zone humide est liée beaucoup plus au domaine marin. Avant les interventions humaines, l'alimentation de la sebkha, était assurée par une communication naturelle avec la mer, l'apport d'eaux météoriques (précipitations et oueds), et aussi par les eaux de la nappe phréatique, grâce à des circulations souterraines (MANSOURI-MENAOUAR R., 1979). Pendant la période estivale, la sebkha constitue, une zone d'évapotranspiration intense. Par conséquent, toute l'eau disparaît et ne laissait au centre qu'une petite mare résiduelle et les sels dissous se concentrent sur la surface (SFAR FALFOUL F., 1998).

Grâce au système d'information géographique, on a pu, intégrer différentes données (images satellitales, cartes topographiques, photographies aériennes et autres) et cartographier l'évolution de la sebkha. En effet, l'examen des différentes données (à

différentes dates), montre un changement assez remarquable dans la morphologie de sebkhat Ariana. Cela est le résultat de divers processus naturels et surtout anthropiques.



ill. n°63 : Evolution de l'espace bâti dans les environs de sebkhat Ariana depuis les années « 80 » (cartes topographiques au 1/50000 et au 1/25000 et des extraits d'images Google Earth 2007©).

L'illustration n°63, nous montre que la sebkha a subi de nombreuses variations morphologiques, suite à l'urbanisation et l'industrialisation tout autour de cet écosystème. L'installation d'un complexe hôtelier sur le cordon littoral, représente un obstacle pour l'échange sebkha-mer. Par ailleurs, on insiste sur l'érosion d'une partie de ce cordon, comme c'est le cas de l'hôtel Carthage Thalasso où, certaines constructions de ses services sont installées sur la Crête dunaire. Ces conditions défavorisent la stabilité d'une manière ou d'une autre l'écosystème de sebkhat Ariana.

L'illustration issue de différentes données disponibles sur la sebkha montre, une évolution assez remarquable de l'espace bâti surtout après les années « 80 ». Les stations d'épurations de Gammart au Sud de la sebkha et de Choutrana à l'Ouest, qui figurent à l'illustration en question, ainsi que le site de décharge à l'Est, représentent une source de nuisance et d'eutrophisation pour la sebkha de l'Ariana.

Généralement, c'est à partir des années « 80 », que la sebkha de l'Ariana a connu une dégradation extrême et même avec la réalisation de passes pour un éventuel échange avec la mer. L'écosystème de la sebkha n'a pas beaucoup évolué. L'extension urbaine, l'accentuation des rejets industriels représentent toujours des sources d'inquiétudes pour cet écosystème fragile.

3.2- Evolution des zones humides intérieures : Le cas de garaât El Mabtouha

La garaâ d'El Mabtouha et le domaine d'Utique occupent la partie Nord de la plaine alluviale de la basse vallée de Mejerda. Les Jebels, Menzel Ghoul, Douimis et Besbassia représentent les limites nord de la garaâ. Elle est limitée par la route nationale qui relie Bizerte à Tunis (GP8) à l'Est et au Sud par la route régionale n°50, reliant le GP8 et le GP7, passant par le village d'El Mabtouha et Sidi Othman. Au Sud Ouest, la garaâ est limitée par Jebel Es-Sakkak.

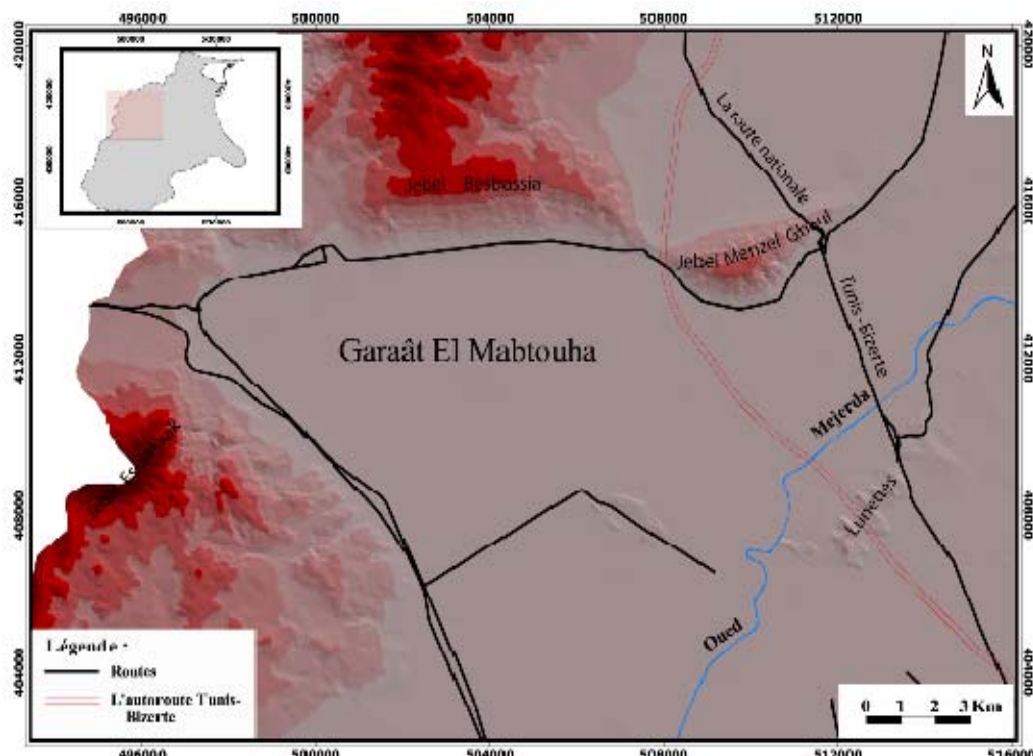
Il s'agit d'une zone couvrant une superficie totale de l'ordre de 9000 hectares, la partie la plus basse s'étend sur 2000 hectares et constitue une dépression marécageuse (HSINI B., 2004). Au Nord et à l'Ouest de cette plaine, on rencontre la zone des piémonts relativement élevée (ill. n°64). La pente du terrain est en général dirigée vers le centre et inclinée vers l'Ouest et non pas vers la mer.

La plaine d'El Mabtouha est une zone alluviale du Quaternaire constituée de dépôts sédimentaires qui se sont accumulés suite à l'épandage des crues de l'Oued Mejerda. Les échantillons prélevés du centre de la Garaâ lors d'une sortie du terrain avec HSINI Brahim

(chercheur qui a travaillé sur le quaternaire autour de garaât El Mabtouha, voir bibliographie) en 2004, montrent qu'elle est constituée par une formation argileuse et de proportion faible de sable fin.

La garaâ d'El Mabtouha, est affecté par un excès d'eau notamment pendant les saisons pluvieuses (la pluviométrie annuelle est de 480 mm/an, la température moyenne est de 17°C, I.N.M., 2003). Cet excès provient essentiellement de :

- L'arrivée abondante des eaux de ruissellement des versants avoisinants et des crues d'Oued Mejerda (SAMAALI H., 2004).
- La stagnation des pluies, profitant d'une faible pente et d'une faible perméabilité.
- La présence d'une nappe peu profonde voir même affleurante au niveau des dépressions (BEN SLAMA A. & SELLAMI M., 1990 in SAMAALI H., 2004). Le niveau du plan d'eau varie de quelques mètres (1 à 5 m) dans la plaine et va jusqu'à plus de 15 m dans la zone de piedmont (HSINI B., 2004).



ill. n°64 : La garaâ d'El Mabtouha : localisation et hypsométrie.
(Cartes topographiques au 1/25000)

Le niveau de la nappe est inférieur à 10 m, aux zones côtières de garaât El Mabtouha telles que : Sidi Othman, Zouitina et El Manar. La profondeur de la nappe varie entre 10 m et 20 m pour la plaine proprement dite et elle est inférieure à 5 m, à Henchir Degma, El Brij

et Aïn Ghellel (HSINI B., 2004). Il y a une corrélation assez remarquable entre le niveau piézométrique de la nappe et la salinité à Garaât El Mabtouha. Les zones les plus salées correspondent généralement aux zones où le plan d'eau est le plus proche de la surface (dépression centrale de Henchir El Mabtouha). Cette forte salinité serait alors due en grande partie à l'évapotranspiration (1300 mm/an).

A garaât El Mabtouha, on note, la présence de certaines unités azonales de végétation, notamment des hygrophiles. Le groupe typique rencontré dans la garaâ est l'*Hordeum Maritimum*. Ce groupement qui est désigné par les lettres « Hm » sur la carte phytoécologique, se développe dans les sols salés.

3.2.1- Evolution du système de drainage à garaât El Mabtouha :

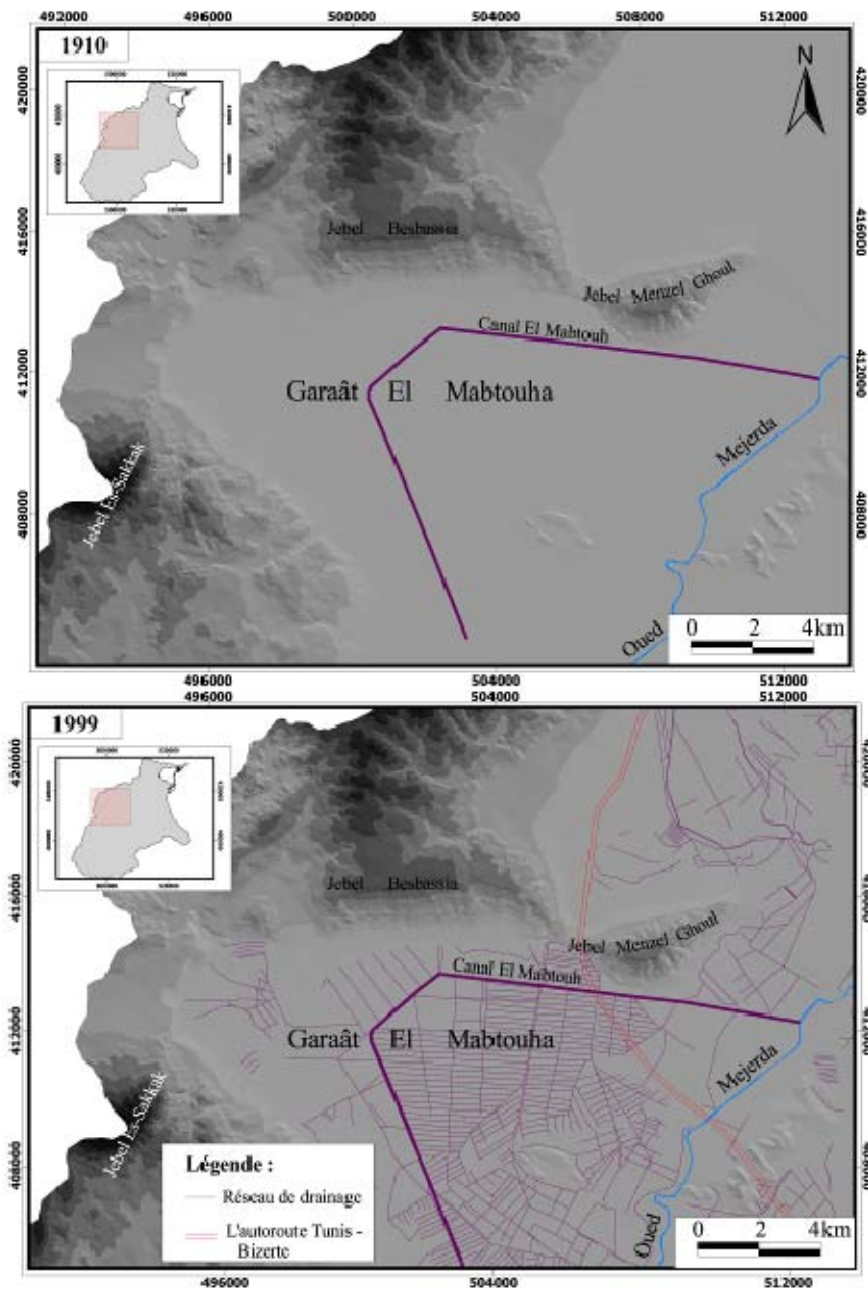
A garaât El Mabtouha, la nappe phréatique est très proche de la surface du sol. Plusieurs techniques ont été utilisées, afin de, pallier l'excès et la mauvaise qualité de l'eau dans cette dépression. Les aménagements à garaât El Mabtouha et dans la basse vallée en général ont été entrepris au début du vingtième siècle (OUESLATI A. et al., 2006). En 1902, et afin de lutter contre les inondations, il y a eu construction d'un barrage pour séparer le fleuve de l'Oued Cherchara (déversoir de la dépression d'El Mabtouha), (EL GAROUANI A., 1995). Vers 1910, il y a eu construction du canal El Mabtough (ill. n°65). Par la suite, des travaux d'assèchement ont été effectués dans la plaine d'El Mabtouha.

La distinction entre les travaux d'assainissement et ceux de drainage n'est pas toujours nette, certains fossés servent à l'évacuation des eaux superficielles et au drainage de la nappe. Le drainage a pour objet d'empêcher la nappe phréatique d'atteindre un niveau nuisible aux cultures et aux sols, en maîtrisant son niveau (EL GAROUANI A. et al, 1999).

Les essais effectués depuis 1962 sur des lotissements déjà drainées et exploitées, ont montré que cette technique a fonctionné convenablement pour maîtriser la nappe phréatique à la profondeur voulue de 1,5 m environ. Ces fossés provoquent l'amélioration des terres fortement salées par suite de lessivage par les pluies (OMVVM, 1972). La carte topographique de Ghar El Melh S.O. au 1/25000 et celle de l'Ariana N.O. à la même échelle, montrent que ces drains forment un réseau assez dense par rapport au début du vingtième siècle. Ils constituent un élément essentiel du paysage (OUESLATI A. et al., 2006).

Un programme a été lancé au début des années 1990, par la Direction des Investissements Agricoles (Ministère de l'Agriculture) avec un coût total de l'ordre de six millions de dinars. La finalité de ce projet est de :

- réaménager et réparer les drains suite aux inondations de 1973.
- créer des pistes dans la garaâ d'El Mabtouha.
- protéger les sols et les eaux par les lacs et les barrages collinaires en raison de la mise en valeur de garaât El Mabtouha.



ill. n°65 : Evolution du système de drainage à garaât El Mabtouha (JAUZEIN A., 1967 ; cartes topographiques au 1/25000 et la carte topographique de Tunis-Bizerte au 1/200000)

3.2.2- L'impact de l'autoroute Tunis-Bizerte sur la garaâ d'El Mabtouha :

Depuis la réalisation de l'autoroute Tunis – Bizerte (A4), la garaâ s'est divisée en deux sous-écosystèmes (ill. n° 65). Ainsi, cet ouvrage représente une digue (obstacle) aux fossés calibrés pour le drainage (sauf le cas de canal El Mabtough et quelques autres principaux collecteurs qui sont construits sous l'autoroute pour assurer la circulation de l'eau de ruissellement).

Pendant les crues exceptionnelles de janvier 2003, la garaâ s'est transformé en une étendue marécageuse. La lame d'eau reçue par la plaine d'El Mabtouha s'est étendue vers le Sud de façon parallèle au tracé de l'autoroute. Par conséquent, plusieurs surfaces cultivées ont été envahies par les eaux de ruissellement (photo n° 12).

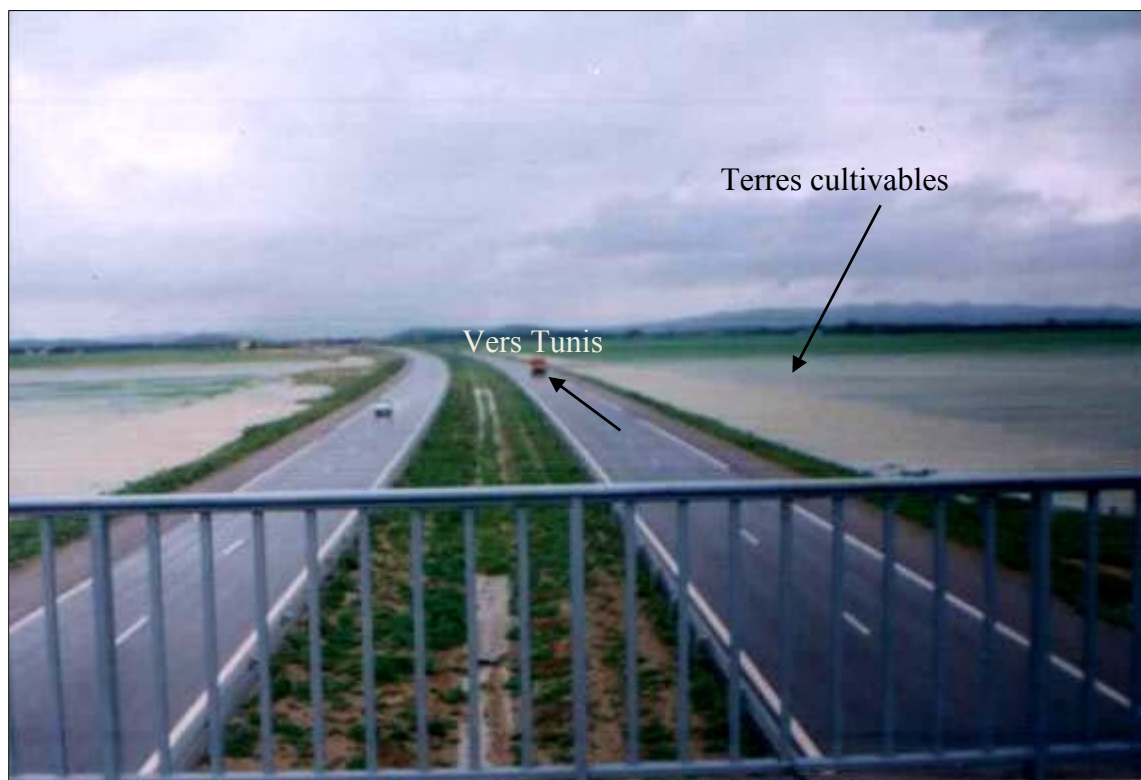


Photo n°12 : L'effet barrage de l'autoroute favorise l'extension des crues vers le Sud de garaât El Mabtouha au dépend des terrains cultivables.

Malgré son effet négatif sur la garaâ, l'autoroute représente une solution efficace pour la recharge de la nappe. Elle assure par l'effet de barrage, l'infiltration (même si le taux d'infiltration est faible). Cet ouvrage contribue aussi, à la protection des périmètres irrigués de la basse vallée (périmètres irrigués de Henchir Tobias et d'Utique), contre les inondations (SAMAALI H., 2004).

Plusieurs autres zones humides marquent le paysage de la plaine de la basse vallée de Mejerda. Ils portent souvent les critères des zones déjà étudiées, telles que ; le domaine d'Utique (6150 hectares), garaât Ben Ammar (1650 hectares), garaât Raoued (1350 hectares) et garaât Sidi Bou Hnach (1430 hectares).

3.2.3- Des aménagements pour la mise en valeur de certaines zones humides :

Comme on en a déjà parlé, c'est au début du vingtième siècle que les aménagements ont été entrepris. Outre, le réseau de drainage qui a été installé à garaât El Mabtouha et dans le domaine d'Utique, en 1932, il y a eu création de l'émissaire artificiel de Henchir Tobias. Il s'agit d'un lit plus court de 15 km, et qui se jette directement dans la mer, où, il transmet depuis 1973, presque la totalité des débits à travers garaât Ben Ammar (EL GAROUANI A., 1995). Des travaux de suppression des méandres telles que la boucle d'El Kantara (1955) et de la boucle de Menzel Rachid (1958), ont été effectués pour contrôler le champ d'épandage et de diminuer la longueur des écoulements et les pertes de charges.

Par la suite, un vaste programme de mise en valeur a été lancé en 1958, avec la création de « l'Office de Mise en Valeur de la Vallée de Mejerda » (OMVVM). Cet organisme intervient dans les travaux antiérosifs, l'assainissement et la protection des terres contre les débordements de l'oued Mejerda.

Les travaux d'aménagement du delta de Mejerda, contribuent à la mise en valeur des terres et par conséquent à la modification de sa morphologie.

Chapitre 2 :

**LE DELTA AGRICOLE : EVOLUTION
DE SON OCCUPATION-UTILISATION DU SOL**

L'espace agricole du delta de Mejerda est dominé par les cultures annuelles sèches, l'arboriculture et les cultures irriguées.

1- Les cultures annuelles sèches : dominance de la céréaliculture.

Jusqu'aux années 1950, la céréaliculture est demeurée l'activité agricole la plus importante dans le delta de Mejerda. Elle s'étendait sur près de 93000 ha et occupait le plus grand nombre de travailleurs. « ...du bassin de Mjez-El Bab jusqu'à la plaine d'Utique, la progression de la colonisation avait consacré la victoire de la céréaliculture et la domination de l'openfield céréalier... » (CHERIF A., 1998).

La colonisation des grandes plaines céréalières du Tell (Nord), le développement de la mécanisation agricole dans les grandes fermes coloniales, ont abouti à l'extension des surfaces et à l'accroissement de la production. A titre d'exemple, pendant la période quinquennale (1950-1954), la politique céréalière française a visé à encourager la culture du blé dur grâce à une prime de 15 %. Cette dernière a connu depuis 1928 une réussite technique certaine et le blé de force « Florence Aurore » fournit les quatre cinquièmes de la production tunisienne de blé tendre (VIBERT J., 1960).

Au lendemain de l'indépendance, les différents aménagements hydrauliques entrepris ont constitué une rupture dans le système de production agricole. En effet, ils ont abouti à l'essor des cultures irriguées. C'est ainsi que la surface des cultures annuelles sèches notamment les céréales ont connu une sérieuse régression en faveur de l'arboriculture et l'irrigué (ill. n°66).

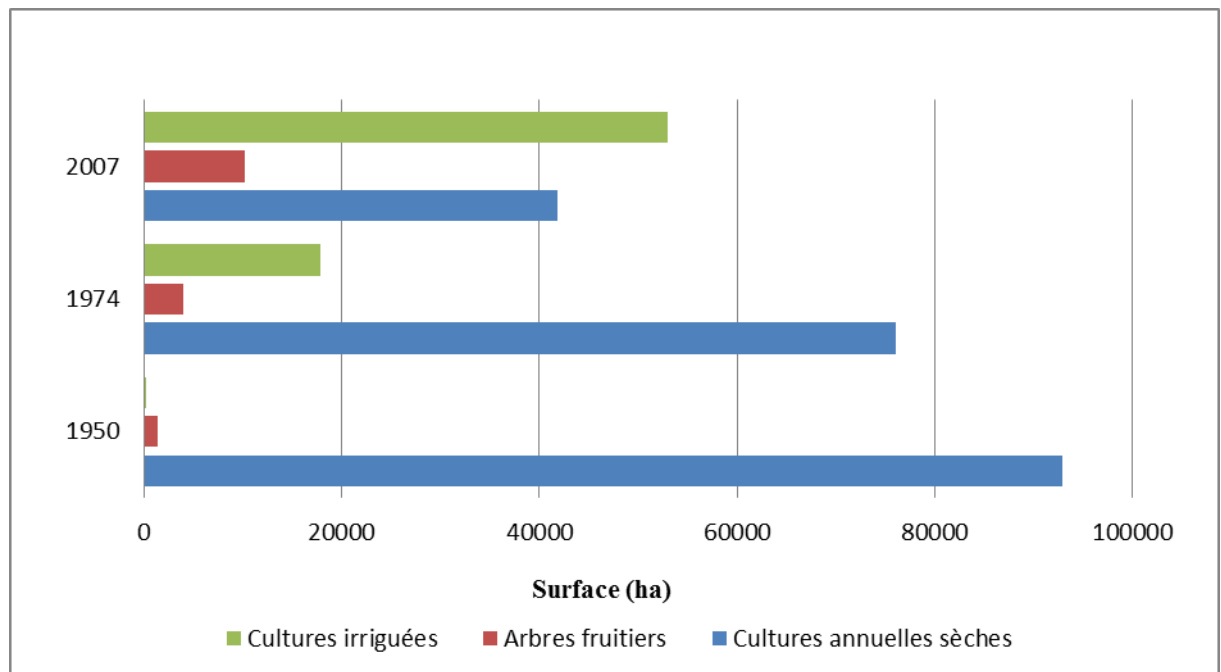
Les approches visuelles et numériques à partir des données d'images SPOT ont été complémentaires dans l'étude de la classe thématique « cultures annuelles sèches » pour les années 1988 et 1999. La combinaison de l'ACP1 + ACP2 + XS1, offre les meilleurs pourcentages de pixels « bien classés ». Cependant, les matrices (tableaux n°4 et n°5, 3^{ème} chapitre, 1^{ère} partie), mettent en évidence des confusions majeures entre la classe «cultures annuelles en sec » et la classe « arboriculture en sec » dans la classification supervisée de l'image 1988. En plus, des confusions entre la classe thématique « cultures annuelles en sec » et la classe « sols humides » sont apparues lors de la classification de l'image satellitale de 1999.

Ainsi, la comparaison des informations recueillies du projet INFOTEL (1999), avec celles issues de la classification numérique (basée sur les réponses spectrales) (ill. n°82), nous a permis de compter près de 51000 ha qui ont été réservés aux cultures annuelles

sèches en 1999. Malgré les confusions thématiques qui démarquent la classification supervisée de l'image Spot 1988, on arrive à compter près de 69000 ha de la culture en question ⁽⁵⁾ .

Couvrant près de 41000 ha en 2007 (soit 47 % de la superficie totale du delta), le domaine de céréaliculture occupe les terres intérieures du delta, les fonds de dépressions et les terrasses entre les pentes reboisées et les périmètres irrigables. Un zonage peut être effectué selon la dominance et la densité :

- Aire céréale à dominance forte dans le domaine d'Utique, les environs de Garaât El Mabtouha, les versants de Jebel Menzel Ghoul, Jebel Douimis, Jebel Kchabta, les environs de Chaouât et les environs nord de Tebourba (ill. n°67).
- Aire céréale à dominance moyenne autour Garaât Ben Ammar, Garaât Raoued, les versants de Jebel Aïn El Krime et de Jebel El Gassâa.
- Aire céréalière à dominance faible voire de subsistance pour les environs de Raoued, de Sidi Thabet et sur les parties inférieures des versants nord de Jebel Ennahli et de Jebel Ammar.

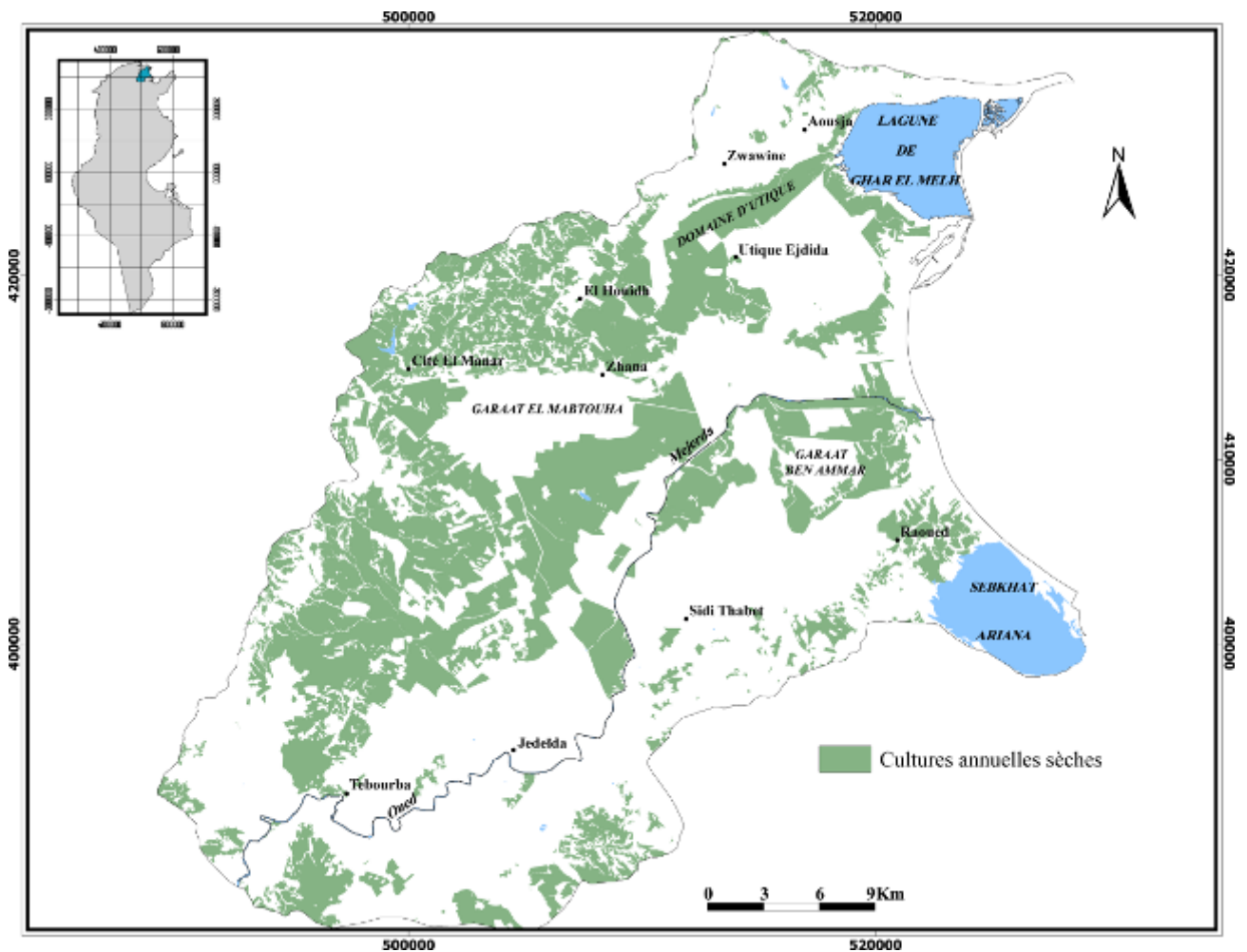


ill. n°66 : Evolution de la superficie des cultures annuelles sèches en fonction de celles des cultures irriguées et des arbres fruitiers entre 1950 et 2007 (cartes topographiques, photographies aériennes de 1974, la BD ortho photo 2000, extraits Google Earth 2007 et enquête personnelle 2007).

⁵ : La classe « culture annuelle en sec » indique tous terrains labourés ou « Bour » (riche périodique).

La culture du blé et de l'orge représente plus de 91 % de la production de céréales dans le delta de Mejerda (MARH, 2008). On note que la culture du blé tendre est très inférieure à celle du blé dur, puisqu'elle exige des terres fertiles. L'orge couvre environ la moitié (19000 ha) de la superficie céréalière totale, notamment les dépressions drainées (photo n°13). Ceci s'explique par sa tolérance à la salinité, aussi sa sobriété et sa résistance à la sécheresse et aux irrégularités temporelles des précipitations. De plus l'orge constitue un pâturage riche en verdure pour les bovins et les ovins (photo n°14).

Durant juin-juillet 2007, le rendement moyen du delta en blé dur a atteint 18.2 quintaux par hectare (enquête 2007), 18 pour le "Nord et 11.4 pour le "Centre+Sud", (ill. n°68).



ill. n°67 : Répartition des cultures annuelles sèches dans le delta de Mejerda en 2007 (Extraits d'images Google Earth ©).



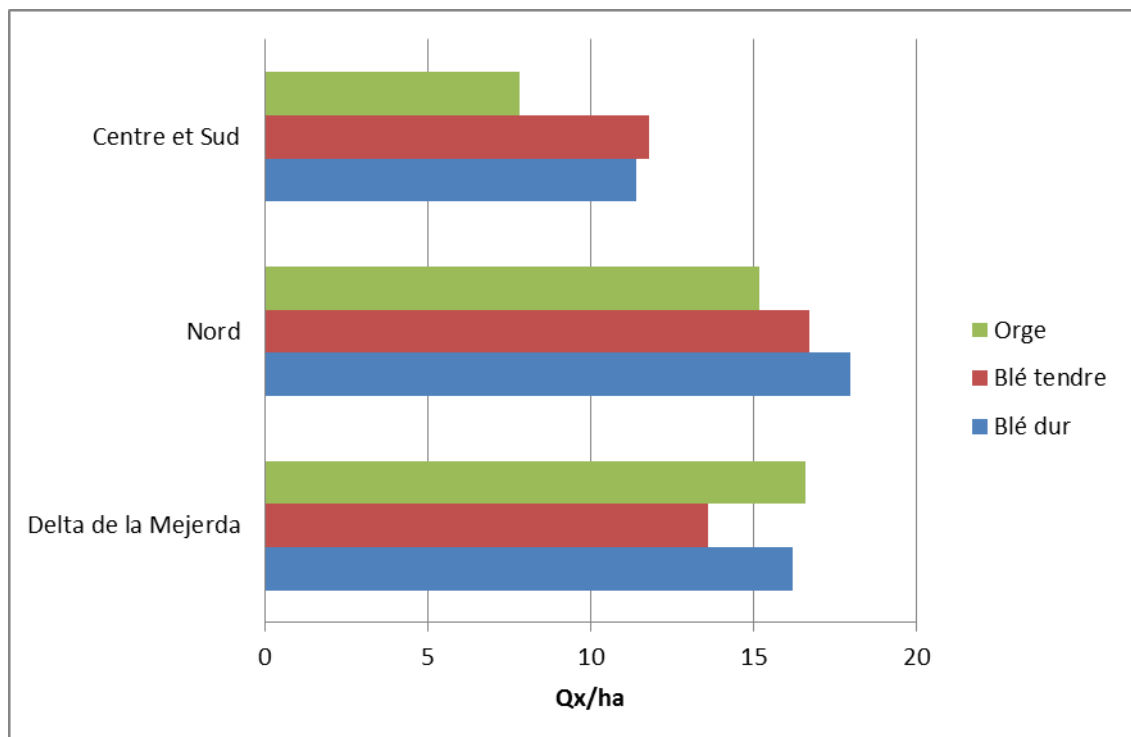
Photo n°13 : La semence d'orge au début du mois de décembre dans les environs Est de garaât El Mabtouha.

Concernant le blé tendre, le delta produit en moyenne 13.6 quintaux par hectare, contre 16.7 quintaux par hectare au Nord et 11.8 quintaux par hectare au Centre et au Sud. Un hectare d'orge donne en moyenne 16.5 quintaux dans le delta alors que le rendement de cette culture ne dépasse pas 15.2 quintaux par hectare pour le Nord et 7.8 quintaux par hectare pour le Centre et le Sud (enquête personnelle 2007 & MARH, 2008).

La régression remarquable de la superficie réservée aux cultures annuelles sèches depuis les années 1950 ne traduit en rien l'importance accordée à ce secteur. Les rendements des spéculations céréalières du delta restent parmi ceux les plus élevés du pays (ill. n°68). Cela au moyen de nombreuses mesures prises et visant le soutien du secteur céréalier avec des aides aux agriculteurs (intrants disponibles aux moments opportuns, désherbages, traitements, encouragements importants etc.....).



Photo n°14 : L'orge constitue un pâturage riche pour les bovins : le cas d'Utique Ejdida.



ill. n°68 : Rendement moyen de quelques spéculations dans le delta de Mejerda, le Nord, le Centre et le Sud de la Tunisie (Enquête personnelle 2007 et MARH, 2008).

L'importance de ce secteur se ressent aussi par la place prépondérante qu'il occupe dans la balance agroalimentaire. En effet, suite à une récolte moyenne pour la campagne écoulée (juin et juillet 2008), les importations des produits agroalimentaires ont représenté 7.7%. La part des importations céréalières par rapport aux importations agroalimentaires du pays a été de l'ordre de 55% avec un coût total de 622.9 MD (MARH, 2008).

2- L'arboriculture : caractéristique de l'évolution de l'olivier et de vigne.

2.1- L'oléiculture :

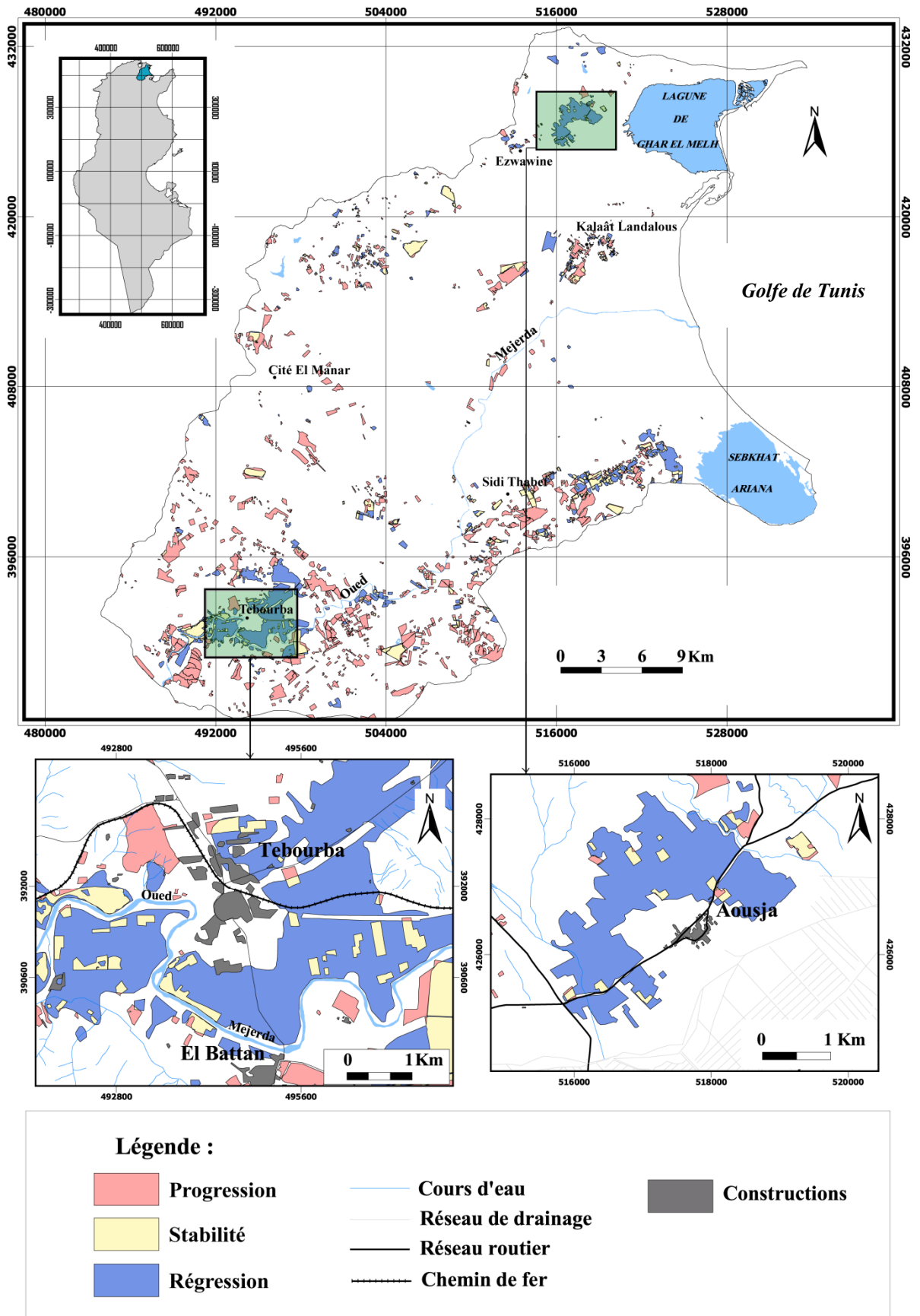
2.1.1- Un extraordinaire rétrécissement des « Ghabas » d'oliviers entre 1950 et 1974 :

C'est durant la période punique que l'implantation de l'olivier s'est développée dans la région du Cap Bon et dans les environs de Tunis. L'historien grec Diodore de Sicile a évoqué dans son ouvrage « bibliothèque historique » que lors de la conquête d'Agathocles ⁽⁶⁾ en territoire Carthaginois à la fin du IV^{ème} siècle avant J.C., les plantations d'oliviers sont déjà assez répandues (FEHRI N, 2007).

La plantation de l'olivier s'est améliorée pendant la période romaine. En effet, avec la chute de Carthage en 146 avant J.C., l'Afrique du Nord, le Sahel et les basses steppes ont connu d'importantes mutations au niveau de leurs territoires. « l'Africa vetus d'une façon générale est devenue plus largement que jamais terre à olivier, à vigne... », (PONCET J., 1962).

L'illustration (n°69), issue de la vectorisation des formations oliviers à partir des cartes topographiques des années « 1950 » et des photographies aériennes de « 1974 », montre qu'il y avait dans le delta trois principales forêts d'oliviers (jusqu'à 1950). La « Ghaba » de Tebourba est la plus étendue en superficie. Elle comportait 196000 pieds et était la plus importante dans les plaines de Tunis (après celle de Mournag), (KASSAB A. et SETHOM H, 1981). L'irrigation de cette « Ghaba » est assurée par le barrage d'El Battan construit entre 1622 et 1624. Celle de Aousja occupe la deuxième position. Des personnes âgées se rappellent encore que la compagnie de Belgique détenait à elle seule 18000 pieds d'oliviers à cette « Ghabas », et que d'énormes quantités d'olives ont été transformées dans la plus importante huilerie d'El Kobbania à El Alia (BEN SALEM M., 1996).

⁶ : Vers 316 avant J.V. Agathocles imposa sa dictature sur la cité de Syracuse et essaya d'étendre son hégémonie sur le reste de Sicile d'où l'intervention du carthaginois Hamilcar afin de protéger les intérêts puniques sur l'île.



ill. n°69 : Evolution des superficies réservées à l'olivier dans le delta de Mejerda entre 1950 et 1974 (Cartes topographiques au 1/50000 et photographies aériennes 1974).

Citant en fin, l'oliveraie du versant Nord de Jebel Ennahli. Des oliveraies de taille moyenne à très réduite avait occupé également les environs de la ville de Kalaât Landalous, de Jedeïda, de l'agglomération de Chaouât et sur les versants Est de Jebel Kchabta et Nord de Jebel Douimis.

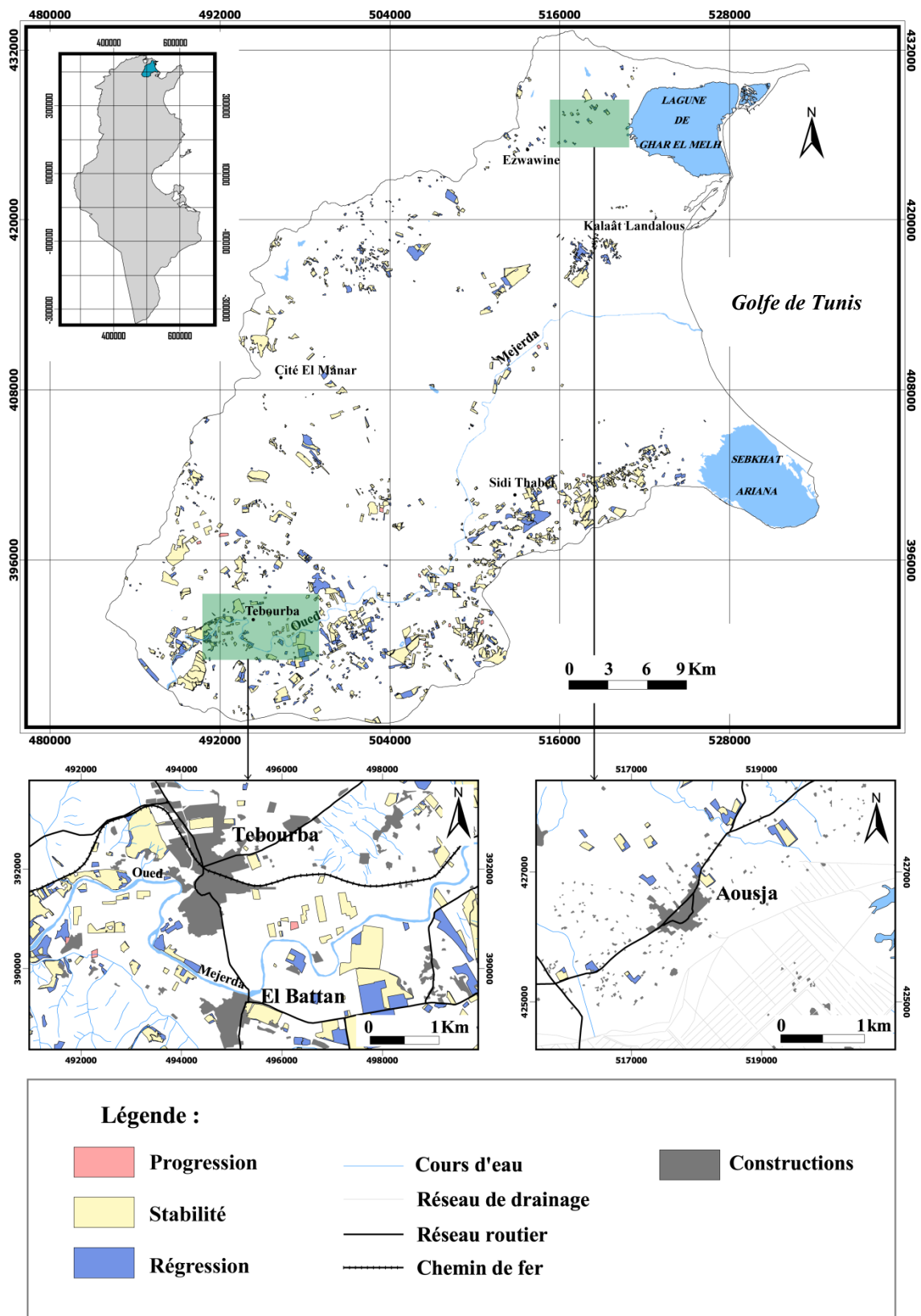
Jusqu'en 1974, les « Ghabas » d'oliviers du delta ont connu un extraordinaire rétrécissement (ill n°69) pourtant les calculs réalisés à partir de "Arc View" montrent un taux d'accroissement de l'ordre de 54.2 % dans la superficie des oliveraies entre 1950 et 1974 (avec 5070.1 ha en 1950 et 7821.2 ha en 1974).

Une grande partie des « Ghabas » de Tebourba a été arrachée pendant la phase coopérative et remplacée par les cultures irriguées, par des cultures fourragères et céréalières ou par d'autres arbres fruitiers. La vague d'arrachage est en étroite liaison avec la nature des terrains occupés. Cependant, des parties majeures avaient occupé des terres dites « habous » privés, publics ou « biens de mains mortes » (CHENNOUFI S., 1981). Ces derniers sont devenus des terres « Melk » suite à l'apurement foncier de 1958. De ce fait, les nouveaux propriétaires avaient procédé immédiatement aux arrachages et à la transformation des arbres en charbon, le but est d'amortir une partie du prix d'achat de « Ghaba ». La baisse de production suite au vieillissement constitue une autre raison d'arrachage.

A Aousja, la « Ghabas » est complètement écartée du paysage (ill. n°69). Elle a occupé dans les années « 1930 » 60 % du territoire, passé à 40 % en 1962 et 1 à 2 % en 1974, suite à la grande vague d'arrachage des années « 1970 » (BEN SALEM M., 1996).

Sur les versants Nord de Jebel Ennahli, la Ghabas d'olivier a connu également un rétrécissement et a été remplacée par des formations d'Eucalyptus qui sont apparues pendant la même période. Des parcelles d'oliviers très éparpillées sont apparues en même période. L'illustration (ill. n°69) montre une concentration de l'oléiculture sur les versants des Jebels (Jebel Menzel Ghoul, Jebel Douimis, Jebel Ammar..). Cela explique l'accroissement de la surface d'oliveraie dans le delta entre 1950 et 1974.

2.1.2- Continuation du rétrécissement de l'oléiculture entre 1974 et 2007 :



ill. n°70 : Evolution des superficies réservées à l'olivier dans le delta de Mejerda entre 1974 et 2007 (Photographies aériennes 1974, et extraits d'images Google Earth ©2007).

La progression du front irrigué et du bâti dans la plaine du delta a provoqué un rétrécissement des oliveraies, de l'ordre de 49.5 % entre 1974 et 2007. L'occupation du sol dans les périmètres irrigués traditionnels est dominée essentiellement par les cultures maraîchères de toutes saisons : melons, pastèque, tomate, piment et surtout la pomme de terre à Aousja Zwawine et Ghar El Melh. Le vieillissement constitue une autre raison d'arrachage.

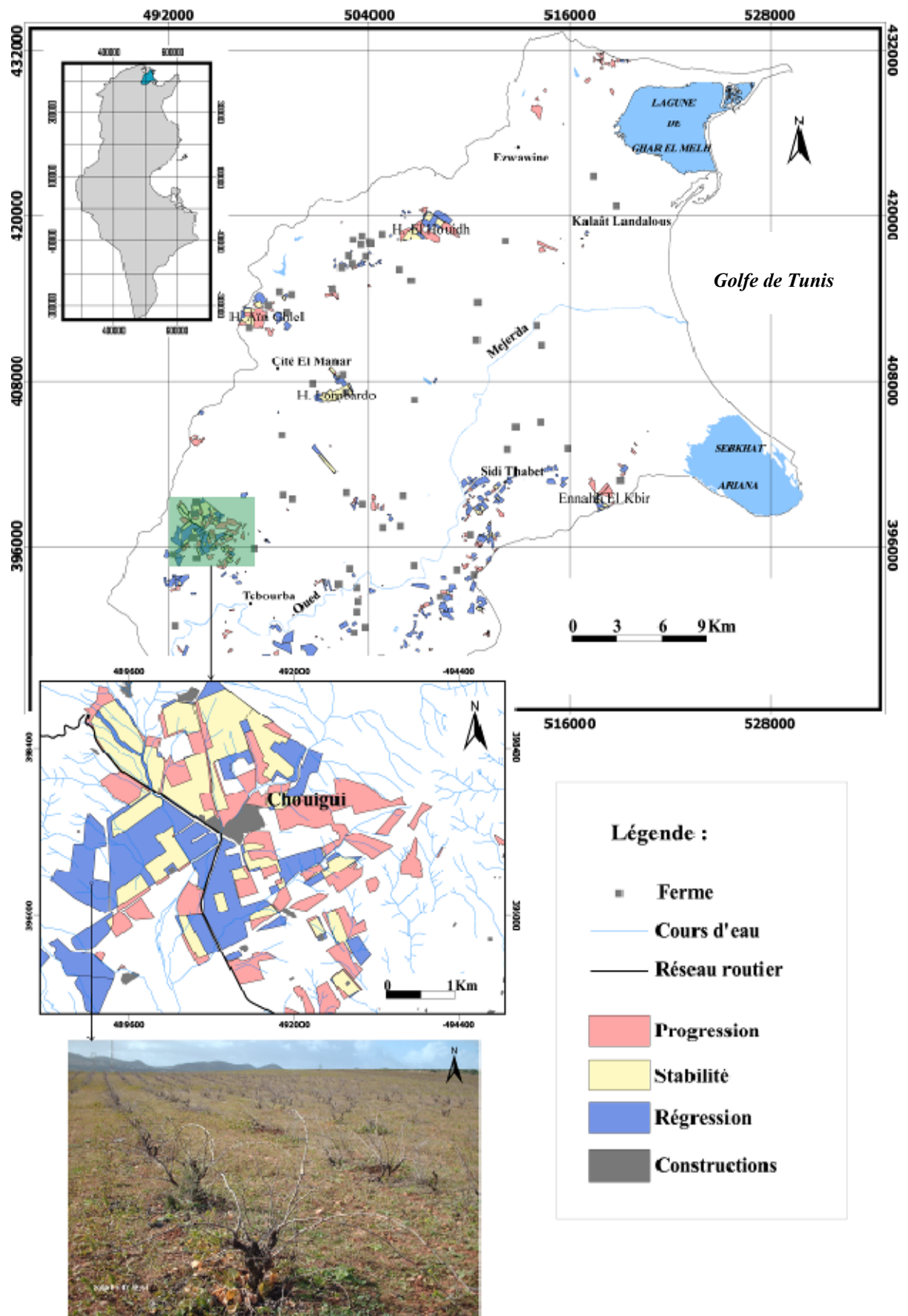
A Tebourba les cultures spéculatives ont dominés l'oléiculture. Les vieux oliviers arrachés au début des années 1980, ont laissé la place aux spéculations fruitières ; pommiers « Anna », poiriers « Williams » et raisins « Muscat d'Italie » qui occupent plus que 2/3 des terres irriguées (CHERIF A., 2008). Les parcelles qui subsistent encore sont en mosaïque avec les cultures maraîchères ou l'arboriculture fruitière. En 2005, une vague d'arrachage a réduit la superficie de l'olivier dans les environs de Tebourba pour planter de poiriers (très demandé dans le marché).

Aujourd'hui, l'oliveraie est presque absente du paysage à Aousja (ill. n°70). Les agriculteurs gardent quelques oliviers dispersés dans les champs et qui servent comme abris pour les bêtes ou comme refuges pour les ouvriers pendant la canicule.

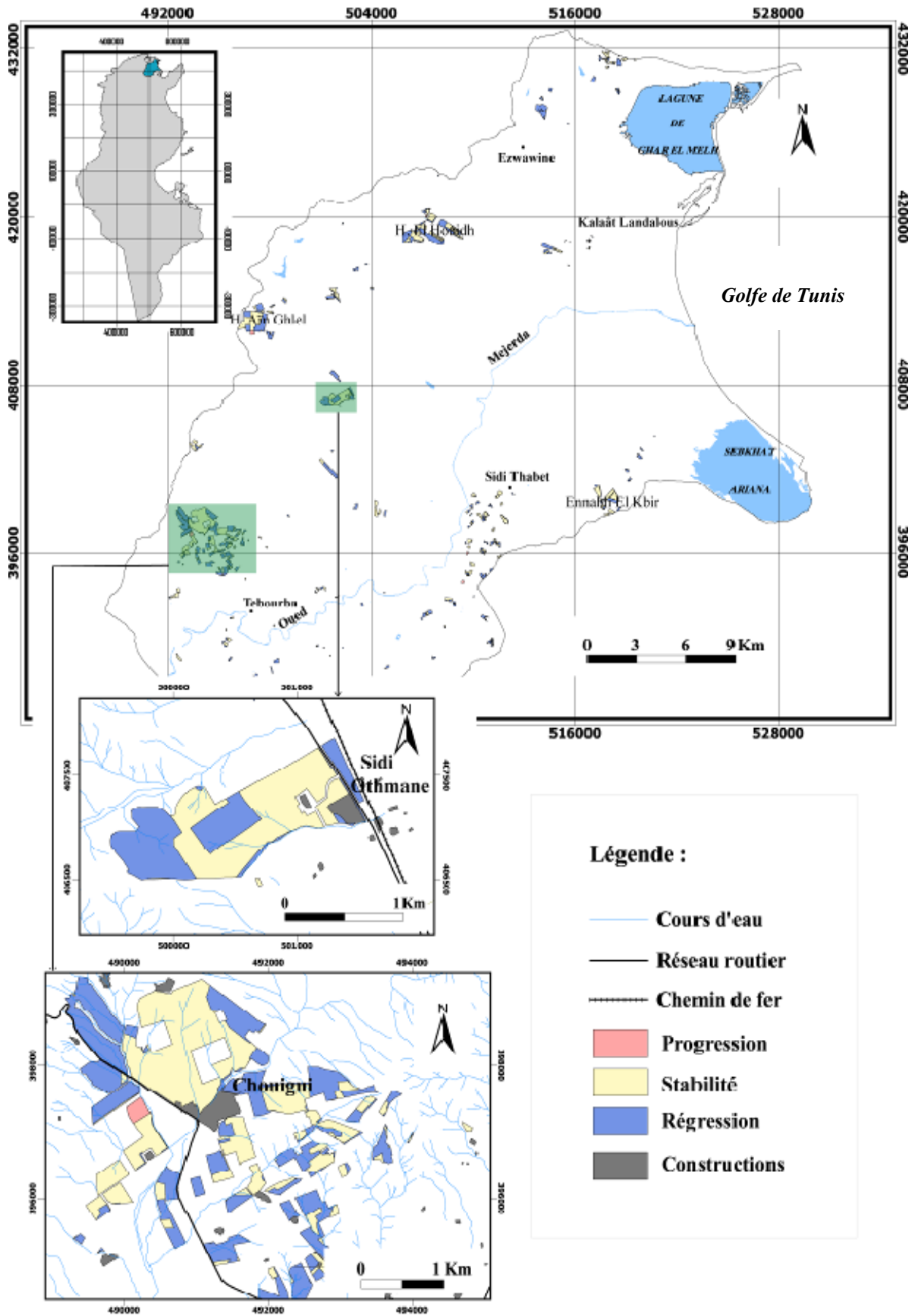
2.2- La viticulture :

La viticulture est aussi une spéculation ancienne du delta de Mejerda. Les principaux Henchirs rencontrés (Chouigui, Lombardo, Aïn Ghlel, El Houidh, Ennahli El Kbir, Terglèche..) ainsi que ceux situés dans les environs de Tunis (Massicot, Furna..) ont été créés par les colons italiens. Ces nouveaux immigrants « illégaux », comme l'indiquent les différentes ressources intéressées par la question des italiens en Tunisie, ont profité de la confusion relative à la terre forestière comme sous le terme de « litiges forestières », pour s'installer sur les terres mortes. Ces terres qui ne s'identifient nullement avec la forêt et qui tirent leur consistance du fait seulement que « n'étant revendiquées par aucune personne morale », ont fait l'objet d'une vaste occupation des italiens démunis de tous les moyens. Ils se sont maintenus sur les coteaux et les sols caillouteux et squelettiques des versants pour la création d'un paysage agraire typique caractérisé par la domination des micro-parcelles viticoles dans les résidences individuelles des familles italiennes (CHAABANI A., 2009).

Pendant la grande crise viticole des années trente, la vigne italienne a perdu tout caractère pionnier pour se transformer en un vaste organisme. Ainsi tous les exploitants italiens ne sont plus, dans leur énorme majorité que les cellules de base d'un ensemble



ill. n°71 : Evolution des parcelles réservées à la viticulture dans le delta de Mejerda entre 1950 et 1974 (cartes topographiques au 1/50000 et photographies aériennes de 1974).

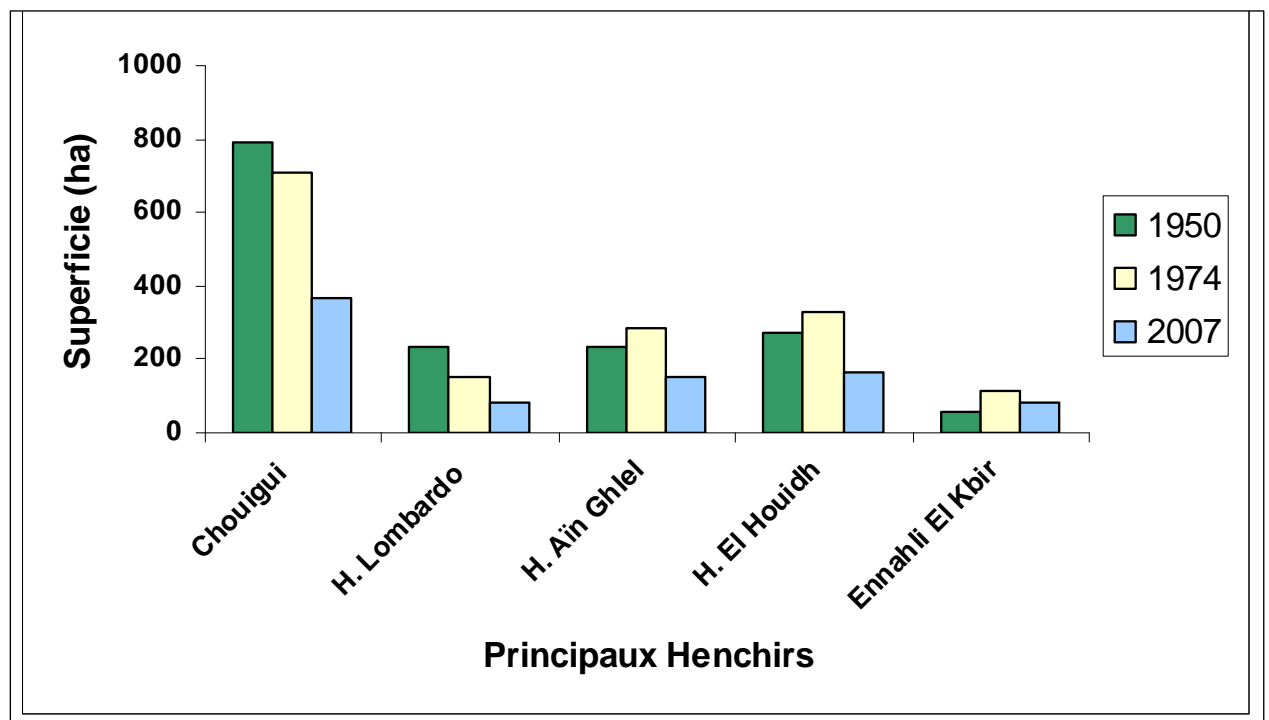


ill. n°72 : Evolution des parcelles réservées à la viticulture dans le delta de Mejerda entre 1974 et 2007 (photographies aériennes de 1974, BD ortho photos 2000, extraits Google Earth© et enquête personnelle 2007).

d'intérêts « presque monolithiques, où banques, Etats et grands exploitants se confondent ». Cependant, ils subissent les revers de la politique (CHAABANI A., 2009).

Comme en témoignait leur hebdomadaire « *de viticultore tunisino* », les vignerons italiens ont souffert des mesures draconiennes prises par les autorités pour « franciser » le secteur. Ils sont acculés à se naturaliser ou à quitter le pays. En même temps, ils n'ont pu profiter des différents organismes créés pour remédier aux déficits des intervenants français. Une telle politique a mis fin à l'extension de la superficie du secteur dans la région.

En 1950, les parcelles réservées à la viticulture couvrent 3124 ha, réparties sur les différents Henchirs cités précédemment. On a compté également en même période près de 66 Fermes (appartenant aux colons) avec une forte corrélation entre la répartition de ces dernières et les terrains de viticulture (ill n°71). Après l'indépendance et du fait, d'un vieillissement des pieds, une politique d'arrachage a amplement diminué la superficie du vignoble. Par la suite, une majeure partie a été reconstituée, cette directive a pour résultat un léger accroissement de la superficie occupée par la viticulture notamment à Henchir Aïn Ghlel, Henchir El Houidh et Henchir Ennahli El Kbir (ill. n°73).



ill. n°73 : Evolution des superficies réservées à la viticulture dans les principaux Henchirs du delta de Mejerda entre 1950 et 2007 (cartes topographiques au 1/50000, photographies aériennes de 1974, et extraits d'images Google Earth© 2007).

La période 1974-2007 est caractérisée par une diminution considérable dans la superficie du vignoble de l'ordre de 50 % (ill. °72). Le rétrécissement de cette spéculation peut être expliqué par la progression du front irrigué et le vieillissement des pieds. Seules quelques parcelles résistent aujourd'hui, c'est surtout les terres qui sont nationalisées et transformées en secteur organisé et qui ne couvrent actuellement que 560 ha répartis sur trois grandes unités régionales coopératives, celles de Tebourba, de Terglèche et de Borj Ettoumi, formant la coopérative viticole de Chouigui (CHAABANI A., 2009).

3- Les cultures irriguées :

3.1- L'essor et l'évolution des cultures irriguées dans le delta de Mejerda :

La période coloniale s'est caractérisée par une agriculture extravertie (blés, vignes, oliviers...) au dépens de la production pour la consommation interne, au dépens des spéculations traditionnelles, surtout l'élevage (l'élevage extensif devenait difficile, les anciens pâturages dans le delta, moyens d'existence en saison sèche, ayant été extrêmement rétrécis par l'appropriation privée et les plantations) (CHENNOUFI S., 1981).

L'agriculture pratiquée par les colons utilise de plus en plus de machines et de moins en moins d'hommes et d'animaux de trait. Les conséquences furent, d'une part, la dégradation rapide des sols à cause de la rareté des engrais naturels et l'érosion des sols suite aux labours profonds, d'autre part, le chômage des populations rurales allait donner des proportions inquiétantes (PONCET J., 1962).

« L'idée de création et de développement d'un pôle maraîcher centré sur la basse vallée de Mejerda avait marqué très tôt la politique de l'Administration coloniale » (CHERIF A., 1998). Inspiré du « modèle algérien », le projet « primeurs pour l'exportation », traduit cette orientation vers les cultures intensives surtout que le marché tunisois est devenu incapable d'absorber la totalité de la production. Ainsi, les cultures maraîchères ont rapidement dépassé les besoins locaux. Mais ce projet, n'a guère pu atteindre les objectifs souhaités par ses initiateurs. Il s'est trouvé handicapé par la concurrence des autres pays d'Afrique du Nord sur le marché métropolitain (CHERIF A., 1998).

Au lendemain de l'indépendance, le nouveau gouvernement Tunisien a dû donc prendre en main la situation pour éviter qu'elle ne s'aggrave et aussi pour tenter d'y remédier. La politique agricole se résume en un slogan : « Pas une goutte d'eau ne doit se perdre à la mer ». L'outil le plus approprié semble bien être de provoquer un nouveau

bouleversement des structures pour une meilleure maîtrise et planification des facteurs en jeux. Il a fallu provoquer une réforme agraire.

3.1.1- La "réforme agraire" : concept, objectifs et difficultés.

L'ambiguïté du terme "réforme agraire" représente tout d'abord une difficulté pour l'analyse, parfois il signifie une série de transformation, parfois une politique de réaménagement des sociétés rurales comme le signale M. OLIVIER (in CHENNOUFI S., 1981) en Algérie, «la révolution agraire renvoie soit à la totalité du processus de transformation des rapports sociaux dans le monde rural qui commence dès 1962 avec l'apparition des biens vacants soit à la politique de réaménagement des structures agraires et du développement rural».

Etant donné qu'une transformation agraire est le passage d'une structure agraire à une autre, la réforme agraire est une transformation brusque de force, animée par l'Etat qui représente un élément structural actif. Cependant CHENNOUFI S. (1981) a affirmé que les effets de la réforme agraire (parcellaire, coopérative, exploitation d'Etat, autogestion...) sont des termes qui prennent un sens particulier dans chaque conjoncture nationale, même si les bases idéologiques paraissent semblables.

En Tunisie, l'intervention de l'Etat était progressive par la prise de relais sur l'Etat colonial. En effet, ce sont les zones prioritaires, qui devaient profiter d'un programme de mise en valeur. Ces zones ont été le domaine d'Enfidha, les zones de mise en valeur dans le Centre, le Sud et la basse vallée de Mejerda. Dans les paragraphes qui suivent, nous essaierons par une analyse rapide de mettre en évidence les particularités de la réforme agraire dans la basse vallée de Mejerda, ainsi que l'essor et l'évolution des cultures irrigués.

Les objectifs socio-économiques de la réforme agraire dans la basse vallée de Mejerda sont :

- Le remplacement des cultures extensives en sec par des cultures intensives irriguées (légumes, fruits) en vue de satisfaire la consommation locale et d'exporter certaines productions.
- L'introduction d'un élevage moderne de 22000 vaches laitières.
- L'installation de 4000 exploitations familiales et création de 13000 emplois.
- La création d'une infrastructure de divers services sociaux au milieu rural (OMVVM, 1972).

Le recensement effectué sur les périmètres irrigués en 1956, a montré que 21000 ha sont convertis en des « domaines » avec près de 100 ha pour chacun. On y trouvait 2000 ha de « habous public » (leur surface avait diminué lors du protectorat suite aux lois qui permettaient leurs échanges contre des biens immobiliers) (CHENNOUFI S., 1981). Ainsi, sur 50000 ha à irriguer, la moitié était aux français.

Les problèmes qui se posent étaient ceux de l'apurement foncier, du remembrement des petites exploitations et du morcellement des grands domaines. En 1956, tous les « habous publics » sont devenus domaine de l'Etat. Vers 1957, les « habous privés » furent à leurs tours dissouts. Le transfert du statut «habous» au statut «bien privé» relève encore la complexité des difficultés rencontrées (hétérogénéité des groupes rencontrés : dévolutaire, héritiers, nouveaux occupants...).

3.1.2- La réforme agraire : le rôle de l'Office de la Mise en Valeur de la Vallée de Mejerda (OMVVM).

Un Commissariat de la Mise en Valeur de la Vallée de Mejerda (CMVVM) coordonna les travaux et entreprit l'étude de la mise en valeur agricole. Au 1^{er} juillet 1958, il a achevé l'équipement en canaux primaires et stations élévatoires de 14000 hectares du périmètre irrigable. Le CMVVM a trouvé une grande opposition de la part des propriétaires qui n'ont pas accepté la reconversion de leurs cultures sèches extensives en cultures irriguées intensives. La rareté des moyens financiers a aussi retardé l'achèvement des travaux.

Devant cette situation l'Etat a envisagé une politique pour la mise en valeur des terrains de la basse vallée. En effet, une loi agraire a été décrétée le 11 juin 1958. Le but est de réduire le prix de l'eau et l'amortissement des investissements, d'assurer une meilleure répartition de la propriété et de distribuer des terres à des paysans pauvres, de contraindre les propriétaires à reconverter leurs exploitations en cultures irriguées intensives. Les surfaces des exploitations furent fixées de 4 à 50 hectares. La taille des lotissements varie en fonction de la fertilité des sols : elle se situe entre 4 et 7 ha à El Hbibia et 50 ha à El Mabtouha (OMVVM, 1960).

En outre, il institua le 9 juillet 1958 « l'Office de la Mise en Valeur de la Vallée de Mejerda », financé par des subventions de l'Etat et ses ressources propres, a pris les études directement en mains et s'est chargé d'achever les deux phases des périmètres irrigables (OMVVM, 1960).

Les travaux de base sont achevés à peu près en même temps que le protectorat français. Ce dernier était jusque là l'acteur technique et financier de tous ces grands travaux

d'équipement et de recherche. Le tout est évalué en mars 1956 à plus de 22 Milliards de francs (dont 12.5 pris en charge par la France, 560 millions par les Etats-Unis d'Amérique et 71 millions par la Tunisie (CHENNOUFI S., 1981).

Après l'indépendance, les « aides » étrangères se sont diversifiées. Les projets Tuniso-Belge, Tuniso-Hollandais, Tuniso-Allemand, Tuniso-Koweïtien... vont participer avec leurs capitaux, leurs techniciens, leurs matériels et parfois leurs vaches laitières de races sélectionnées pour performer le projet de mise en valeur.

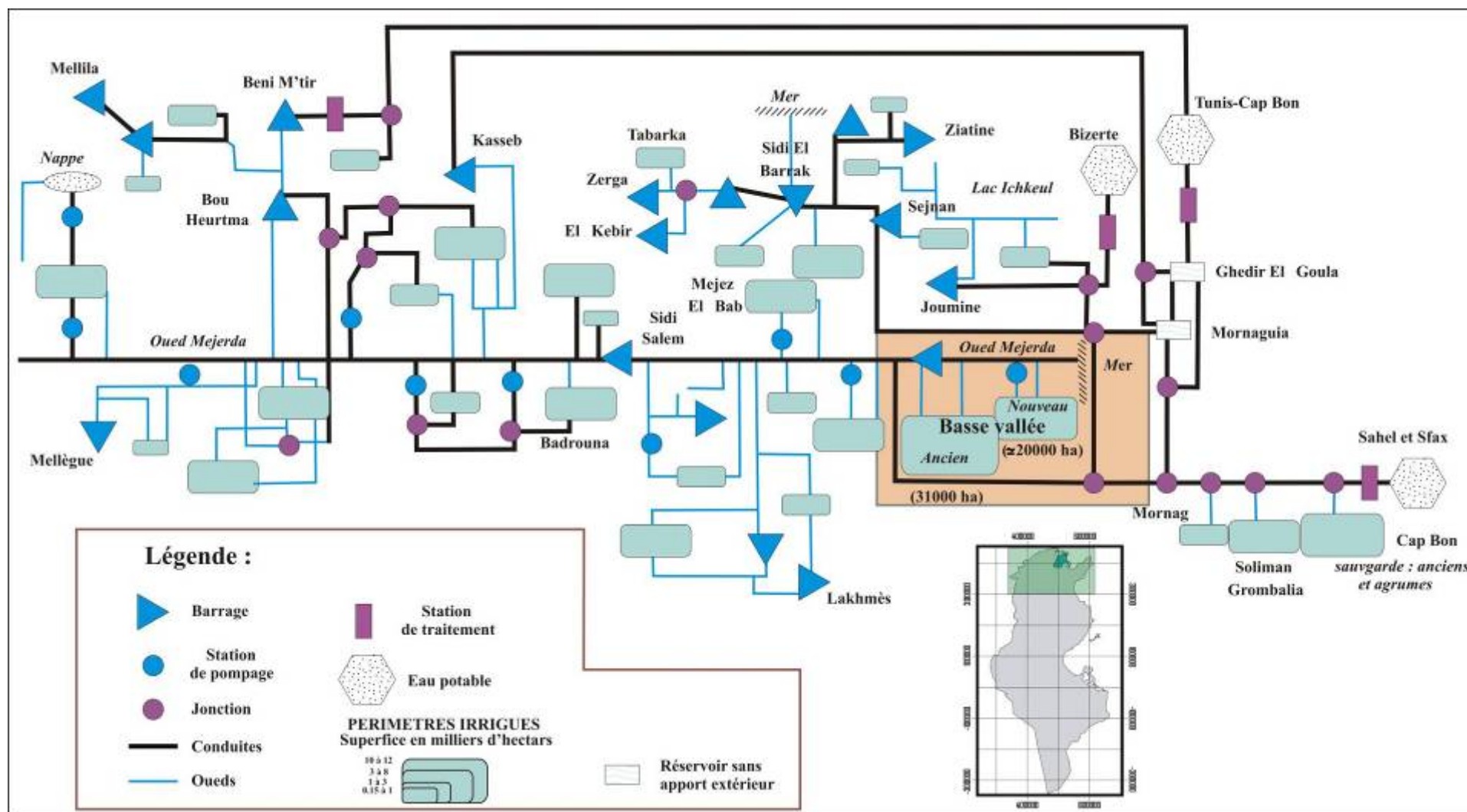
3.1.3- Les travaux hydrauliques : Mobilisation de l'eau et mise en valeur des terrains.

La zone d'étude a fait l'objet de nombreux travaux d'aménagement de son milieu rural, en particulier pour la mobilisation et la mise en valeur des eaux de surface. En effet, ce n'est qu'après les années « 1950 » que fut entamée la construction de grands barrages de retenue sur les principaux affluents de l'oued Mejerda (ill. n°74).

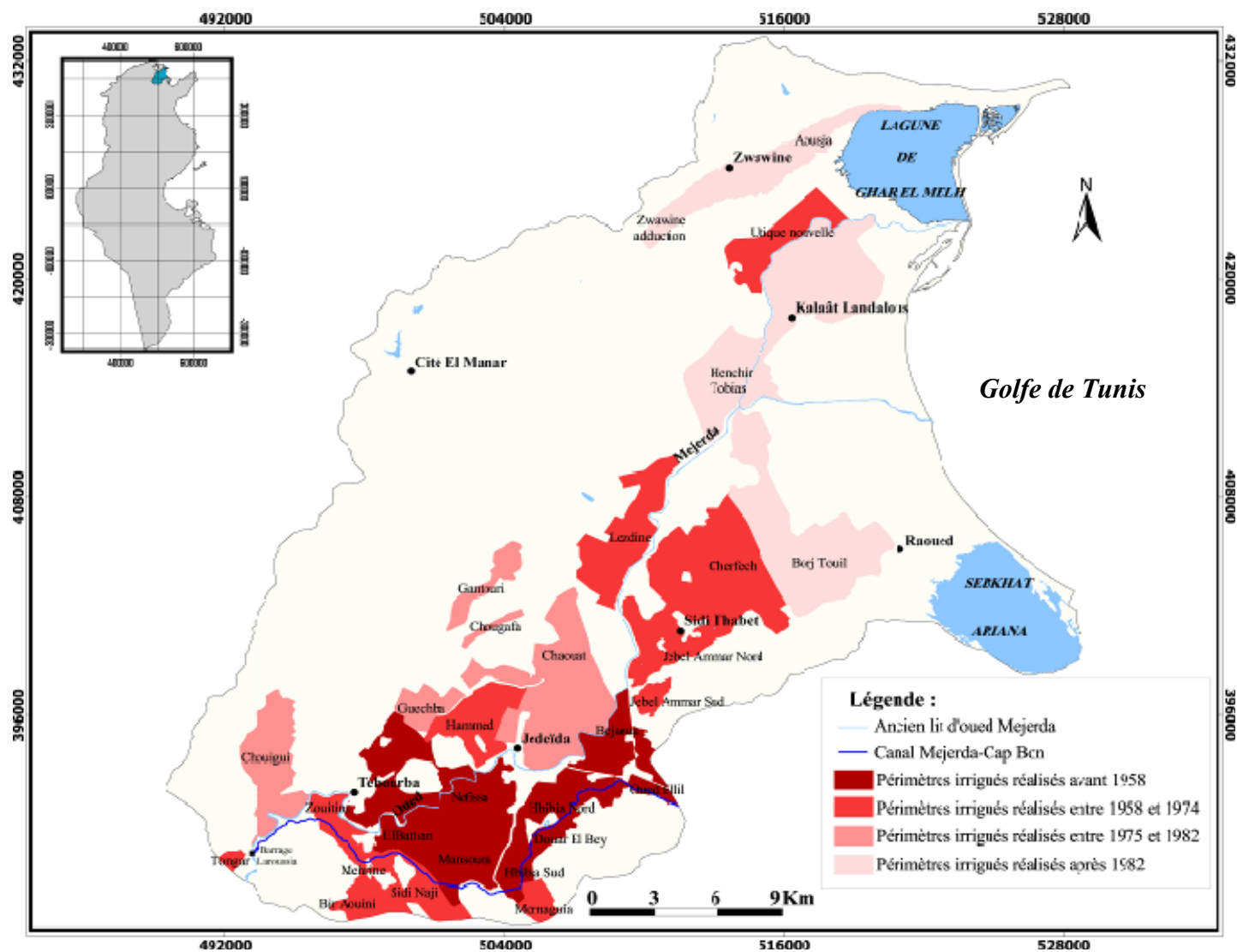
L'infrastructure initiale des barrages est achevée en 1957. Elle comporte entre autres barrage Laroussia et le canal principal d'irrigation d'un débit de 13 m³/s. (OMVVM, 1960). Parallèlement, un vaste programme de lutte contre les eaux stagnées entrepris. Il s'agit de :

- l'exécution des travaux antiérosifs sur 117000 hectares.
- L'assainissement de 40000 hectares de basses terres.
- La protection de 52000 hectares contre les débordements d'oued Mejerda par la rectification du cours inférieur du fleuve.
- La récupération par colmatage, grâce aux alluvions d'oued Mejerda, de 12000 hectares de terrains marécageux (OMVVM, 1960).

En appliquant le Plan Directeur des Eaux du Nord (PDEN), de nombreux barrages et lacs collinaires ont été édifiés (première partie). Ils participent actuellement à l'alimentation de plusieurs périmètres irrigués, qui couvrent près de 31000 hectares pour les anciens périmètres et presque 20000 hectares pour les nouveaux périmètres de la basse vallée (ill. n°74). Ainsi, la superficie des périmètres irrigués a connu une extension remarquable (ill. n°75).



ill. n°74 : Schéma topologique du système hydraulique interconnecté du Nord de la Tunisie (CHERIF A., 2008 : document modifié)



ill. n°75 : Evolution des superficies cultivées en irrigué dans le delta de Mejerda (CRDA de la Manouba & BICHE, 2006 ; CRDA de l'Ariana, 1998 et CRDA de Bizerte, 1999).

En outre, les eaux profondes ont été mobilisées par de nombreux fourrages, et une multitude de puits et de sources, pour permettre l'irrigation de 4000 hectares dans les gouvernorats de l'Ariana et de Manouba et près 11880 hectares dans le gouvernorat de Bizerte (MEHAT & SCET, 1996). Enfin, les usines de traitement des eaux usées du Grand Tunis ont permis la création de 3450 hectares dans le gouvernorat de l'Ariana.

3.1.3.1- Réseau et mode d'irrigation :

Les eaux d'irrigation provenant du barrage 'Laroussia' sont distribuées par un réseau hiérarchisé d'une longueur totale de 1254 km. Les périmètres irrigués sont équipés de 7 stations de pompage, de 22 bassins de régulation et de 853 km de drain pour assurer le drainage.

L'infrastructure de mobilisation des eaux d'irrigation des différents secteurs du périmètre irrigué du delta de Mejerda est constitué de :

- Barrage Laroussia qui joue le rôle d'un réservoir de régulation et de stockage des eaux lâchées par le barrage Sidi Salem en assurant l'alimentation du canal de Mejerda. La régularisation des eaux dans ce canal est assurée par les deux vannes à niveau aval constant qui équipent la prise d'eau au niveau du barrage Laroussia (CRDA Manouba & BICHE, 2006).
- Le canal de Mejerda est composé d'un tronc commun, d'une branche sud et d'une branche nord :
 - Le tronc commun est composé d'un canal de 4319 m de longueur et d'un tunnel de 552 m. Il véhicule un débit total de $13\text{m}^3/\text{s}$ (ill. n°76). Ce tronc commun appelé également le « grand canal », se divise en deux branches nommées branche sud et branche nord (ill. n°76).
 - La branche nord d'une longueur totale de 14266 m véhicule un débit de 5200 l/s et dessert gravitairement 7 secteurs couvrant une superficie totale de 4913 ha à travers 12 prises sur le canal.
 - La branche sud d'une longueur totale de 25753 m jusqu'à la station de pompage de Béjaoua véhicule un débit de 8200 l/s et dessert 13 secteurs couvrant une superficie totale de 13611 ha à travers 30 prises sur le canal
- Les canaux de Henchir Tobias construits dans les années 1990 (raccordement de l'ancien lit d'oued Mejerda et l'émissaire de Henchir Tobias) :
 - La branche est d'une longueur totale de 34660 m de la station de pompage « PO » jusqu'aux périmètres irrigués de Ras Jebal avec 13 prises sur le canal.

- La branche ouest d'une longueur totale de 19360 m de la station de pompage « P1 » jusqu'aux périmètres irrigués d'El Alia avec 6 prises sur le canal.

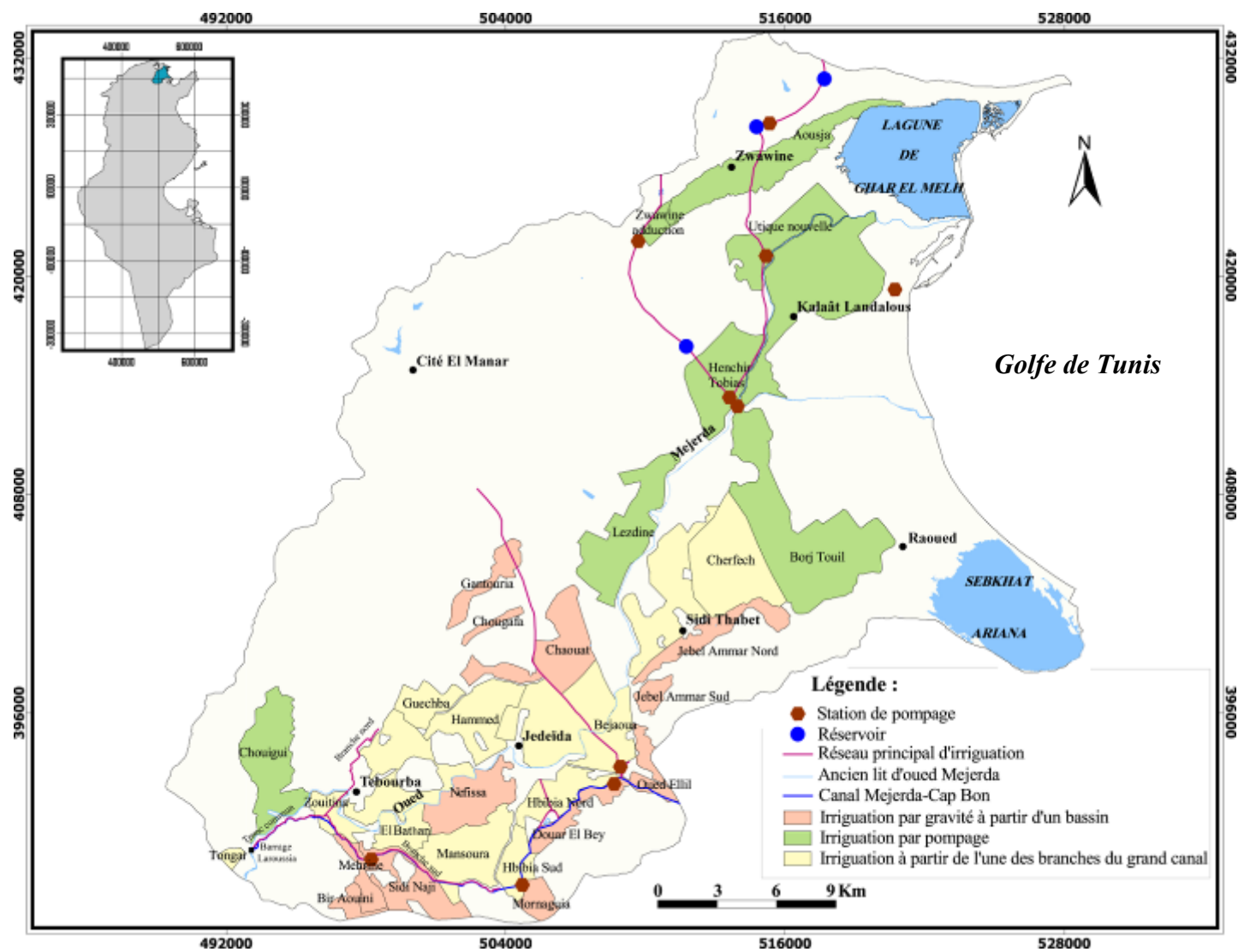
A partir des grands canaux (Laroussia et Henchir Tobias) ou des réservoirs, les eaux sont dirigées aux points d'irrigation par des canaux semi-circulaire en béton armé. Des canaux à section semi-circulaire en béton vibré sont également utilisés pour l'équipement intérieur des parcelles (photo n°15). Ces canaux sont construits dans les années 1950 par deux importantes usines situées à Ben Arous appartenant à l'Etat et qui sont exploitées l'une par la Société des Tuyau «BONNA», l'autre par la Société Commerciale de Minière pour l'Afrique du Nord pour la fabrication des diverses sortes de canalisation nécessaires aux besoins de l'hydrauliques (OMVVM, 1960). Des seguias en terre, des canaux quaternaires en ciment et des canaux à section semi-circulaire brevets, « ROSACOMETTA », « BONNA » ou « SOCOMAN », en béton vibré sont également utilisés pour l'équipement intérieur des parcelles.

Les périmètres du delta de Mejerda sont essentiellement irrigués par :

- gravité à partir d'un bassin.
- pompage.
- l'une des branches de canal Laroussia (ill. n°76).



Photo n°15 : Exemple d'un canal quaternaire en ciment à Cherfech 1.



ill. n°76 : Répartition des périmètres irrigués du delta de Mejerda selon l'origine des eaux (Élaboration personnelle à partir des données, CRDA de Manouba & BICHE, 2006 ; MA & AHT, 1998).

3.1.3.2- Les travaux du service technique :

Sur les lotissements de réforme agraire, les travaux d'aménagement hydrauliques ont succédé les travaux des services techniques pour la production intensive en irrigué. Les attributaires n'ont pu prendre en charge le coût dans la première phase de « réforme agraire », et qui seraient comptés dans le coût total du lot pour un remboursement à long terme.

Ces travaux consistent au défoncement, nivellement, fumure de fond, chemins d'accès, parfois plantations d'arbres fruitiers et bornage des lots. De plus, des logements furent construits pour les familles des attributaires. Les plans des logements varient légèrement selon les conjonctures mais, dans la plupart des cas, ce sont des petites villas de trois pièces. D'autres part, ces logements ont été parfois construits sur les lots proprement dit, regroupés en petits villages comme le cas d'El Hbibia, chacun étant entouré d'un grand jardin (environ un demi-hectare). Souvent une étable qui peut contenir cinq vaches était adjointe au logement (CHENNOUFI S., 1981)

3.1.3.3- Les moyens financiers :

Les prêts accordés par l'intermédiaire de différents organismes pour les attributaires constituent un facteur essentiel pour accomplir le projet de réforme de la basse vallée. Ils sont nombreux, très variés et peuvent être classés en deux catégories :

- Les prêts à court terme ou prêts de compagnie : Ils sont accordés soit en nature, vente à crédit de produits (engrais, pesticides, semences..) par l'OMVVM, soit en espèces : des fonds spéciaux sont confiés à la gestion de la Banque Nationale de la Tunisie (BNT). L'exploitant peut emprunter de 400 à 500 DT remboursable en moins d'une année (OMVVM, 1960). Aux prêts de compagnie appartiennent les différentes formes d'encouragement pour pratiquer des centaines de cultures (betterave à sucre, artichaut...)
- Les prêts à moyen et long terme : Grâce à ces prêts les agriculteurs peuvent développer leurs élevages, leurs moyens matériels de production et leurs plantations d'arbres fruitiers. Généralement, les attributaires du delta ont utilisé ces prêts pour l'achat en coopération (deux à trois et parfois plus) d'un mini tracteur et l'acquisition de motopompes.

La majorité des vaches ont été acquises avec les prêts " BIRD "⁽⁷⁾ et " FOSDA "⁽⁸⁾. En effet, l'agriculteur paie une tranche de 10 % du prix qui correspond à l'autofinancement plus la prime d'assurance. 20 % du reste sont subventionnés et 70 % seront remboursés en 5 annuités. Avec le prêt BIRD, le remboursement commence 2 ans après l'acquisition des vaches, alors qu'avec le prêt FOSDA, il faut rembourser, après la première année.

Le crédit BIRD a remplacé en novembre 1977 le crédit FOSDA (épuisé) pour plantations. Jusqu'à la moitié des années 1980, les crédits BIRD ont été accordés pour toute espèce fruitière sauf pour l'olivier. Même procédure ; autofinancement, subvention et remboursement à partir de la première année présumée d'entrée en production.

Ces crédits ne peuvent en aucun cas être accordés à l'agriculteur qui a des dettes non remboursées auprès de l'OMVVM ou de la Banque. Contrairement d'autres organismes qui proposent des services pour plantation d'oliviers ne tiennent pas compte des dettes antérieures. Avec la dissolution de l'OMVVM, d'autres organismes ont pris la charge des crédits. La réponse à la question n°30 de l'enquête personnelle 2007 (annexe II), nous a permis de découvrir que la majorité des agriculteurs (82.36 % des enquêtés) refusent de prendre des crédits pour la simple raison qu'ils ne peuvent pas garantir une telle récolte. Ils utilisent souvent leurs propres moyens pour faire des cultures annuelles sèches. Néanmoins, 17.64 % des enquêtés ont bénéficié d'un crédit de la Banque Nationale Agricole (BNA) pour couvrir les dépenses des cultures maraîchères, de l'arboriculture et de l'élevage bovin.

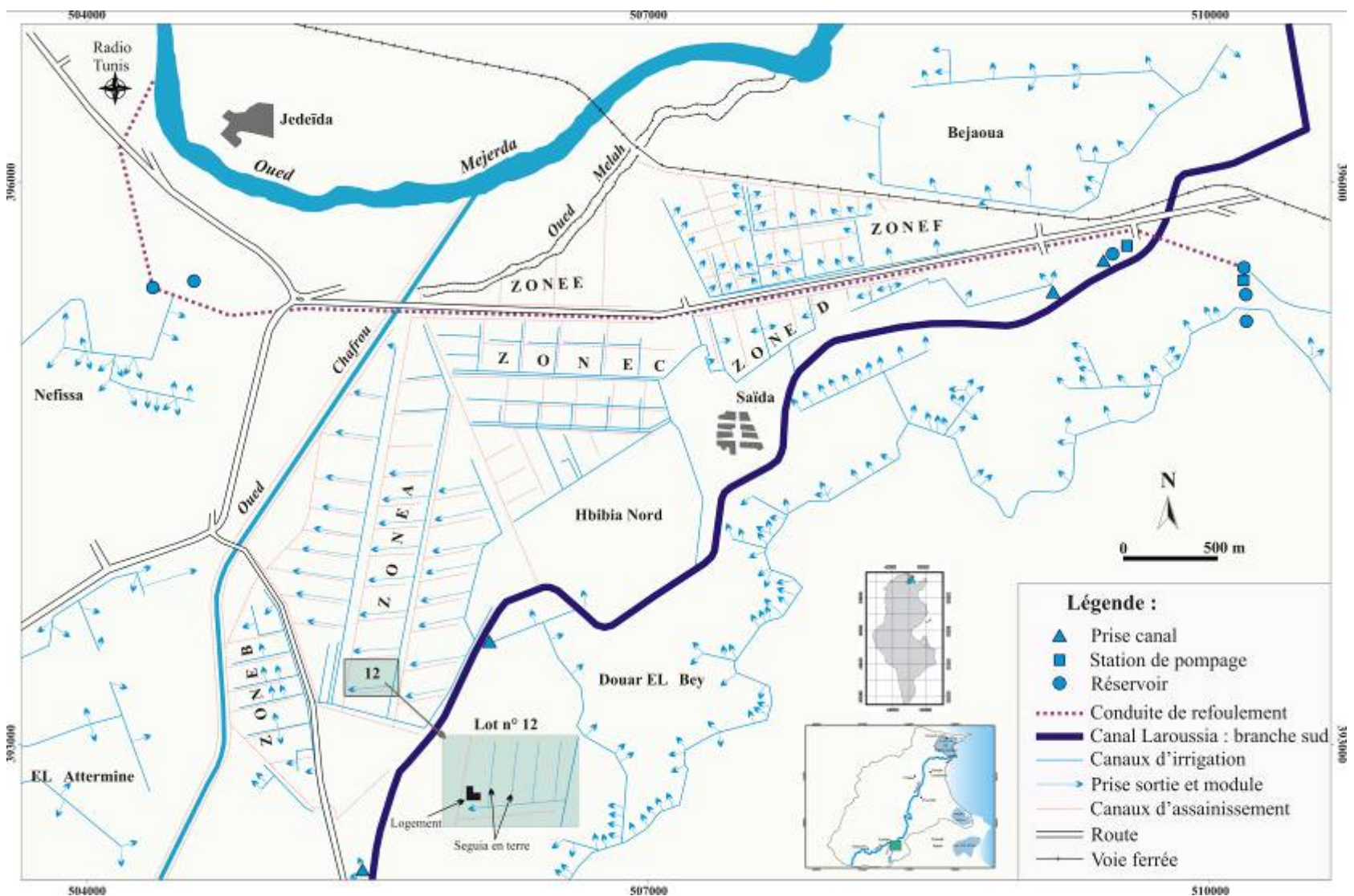
3.1.3.4- Etude de cas : le périmètre irrigué de Hbibia Nord.

➤ Les différents aménagements :

Le réseau d'irrigation, directement relié à la branche Sud du grand canal (Laroussia) qui domine le lotissement, comporte un ensemble de canaux secondaires et tertiaires, amenant l'eau à une prise, en tête de chaque lot (ill. n°77), et un canal quaternaire, en ciment ou terre (sequia) constituant la rigole-mère du lot. L'irrigation est pratiquée par cuvettes ou sillons. L'assainissement et le drainage ont nécessité des travaux particulièrement importants en raison de l'imperméabilité de la plus grande partie de cette zone et de la proximité du plan d'eau.

⁷: BIRD : Banque internationale pour la reconstruction et le développement.

⁸: FOSDA : Fonds spécial pour le développement agricole.



ill. n°77 : Répartition des canaux de drainage et d'irrigation dans le lotissement de Hbibia Nord
(Elaboration personnelle à partir des données OMVVM, 1960)

Le lotissement de Hbibia Nord est traversé par la route de grande communication de Tunis à Mateur et par la route d'intérêt local de Jedeïda. Tout un réseau de voies intérieures raccordées à ces routes a été constitué pour desservir les lots. L'axe principal est constitué par la large voie d'accès au centre administratif. Sur chaque lot, un logement a été édifié. Il est légèrement soulevé en raison de la nature du sol avec une surface couverte de près de 100 m².

➤ ***Monographie du lot n°12 « Zone A » à Hbibia Nord :***

Le lot n°12 (ill. n°77) est d'une superficie de 5 ha. 72a. 27 ca. Il a été attribué à un certain Hedi EL HAMMAMI, ancien ouvrier chez un colon à Henchir El Kelbine (Jedeïda) avec un coût total de 3713,5 DT (prix du lot et de la maison). Ce lot a été cédé à l'OMVVM (de la part de la société l'OMNUIM) à titre de contribution aux investissements hydrauliques. Les travaux d'équipement effectués par l'OMVVM ont pour but :

- La délimitation et le bornage effectués par la brigade topographique de l'OMVVM.
- Le sous-solage et le nivellement.
- Le drainage par fossés ouverts pour colature.
- Le raccordement au réseau d'irrigation.
- La construction d'une habitation de type « A »

Les travaux ont commencés le 22 novembre 1958 et achevés le 20 mars 1959. Les travaux de mise en valeur et exploitation exécutés par l'attributaire en 1960 se répartissent comme suit :

- Plantation : 4 ha. avec ;
 - 2 ha (200 oliviers).
 - ½ ha. (125 abricotiers).
 - ¼ ha. (60 poiriers).
 - ½ ha. (125 pruniers).
 - ¾ ha. (155 pêchers).
- Cultures intercalaires : 3.5 ha. avec ;
 - 1.5 ha. artichauts.
 - 1 ha. de tomate.
 - 1 ha. de piments.

- culture en plein : 1 ha. avec ;
 - ½ ha. de coton.
 - ½ ha. de melon

3.1.4- La responsabilisation des usagers et le désengagement progressif de l'Etat de la gestion des périmètres irrigués :

Jusqu'aux années 1970, la gestion des périmètres irrigués a été assurée par l'OMVVM. A partir de 1989 et jusqu'en 1991, une politique de décentralisation et de gestion communautaires a été entamée et s'est manifestée par :

- La dissolution de l'OMVVM et le renforcement des CRDA.
- La révision de tous les textes réglementaires relatifs aux associations d'usagers (statut, rôle, fonctionnement...).
- L'institution au sein des CRDA, de cellules chargées de la création, de la promotion et de la supervision des activités des Associations d'Intérêt Collectif (les AIC).
- La parution du décret 1869 du 2 décembre 1991 portant adoption d'un cahier des charges fixant les modalités et les conditions générales d'alimentation en eau des périmètres irrigués et la tarification de l'eau (CRDA de Manouba & BICHE, 2006).

En 1992, une stratégie nationale pour la création et le suivi des Associations d'Intérêt Collectif a été mise en œuvre. Le programme de formation et d'assistance technique a permis aux AIC, un désengagement progressif de l'administration de certaines activités dont l'entretien, la maintenance des installations hydrauliques et le transfert des responsabilités d'exploitation. Quelques exemples illustrent la création d'activités annexes et le renforcement du fonctionnement des AIC dans le delta de Mejerda :

- L'AIC de Touibia, créée en 1998, a déjà reçu l'autorisation pour investir l'épargne (305 DT) dans la vente d'engrais, de pesticides, de semences... Les adhérents de cette AIC projettent, en outre, de créer une pépinière, pour favoriser l'essor de l'arboriculture fruitière dans la région (RAHMOUNE-BAUDU L., 2007).
- A l'AIC Tongar (Haute pression) créée en 1993, les adhérents ont entrepris les travaux d'installation de l'irrigation localisée (goutte à goutte). De plus, un point de vente pour les engrais est disponible. L'informatique est prévue pour faciliter le travail du trésorier. Tout cela a été possible grâce au bilan positif enregistré par l'AIC en 1998 (2682 DT d'excédent). Un secrétaire permanent a été embauché par l'AIC.

- Pour faciliter les déplacements de son pompiste, l'AIC de Jebel Ammar n'a pas hésité à investir dans une mobylette.
- Au sein de l'AIC de Bèjou-Ghar El Melh, formée en 1999, les agriculteurs se sont spécialisés dans la production de pommes de terre. L'approvisionnement en semences pose un problème chronique, et l'AIC souhaite prendre en charge l'achat et la distribution des semences à ses adhérents. Ce qui pourra être envisagé dès que l'AIC aura créé le fond de roulement nécessaire (RAHMOUNE BAUDU L., 2007).

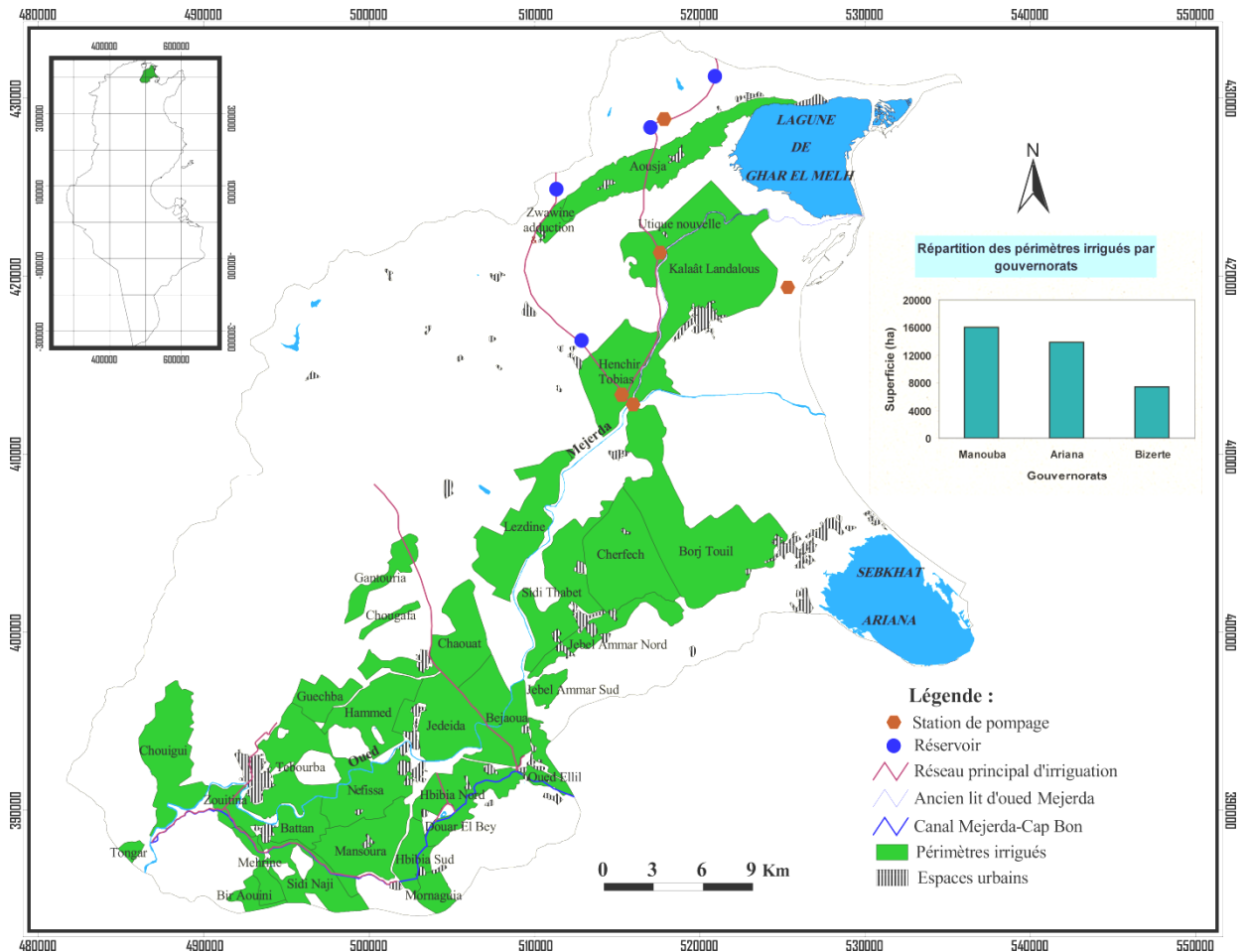
En 1999, les Associations (AIC) sont devenues des Groupements d'intérêt Collectif (GIC) qui pouvaient évoluer en des Groupements de Développement (GD) en se chargeant d'autres activités de développement.

Un cadre de gestion qui définit les charges de chaque partie a été introduit, entre le CRDA et chaque usager, sous forme d'un contrat d'abonnement. La répartition des rôles et des responsabilités entre les GIC et les CRDA s'est matérialisée ultérieurement en contrat de gérance entre les deux parties. Les capacités des GIC ont évolué de sorte à pouvoir s'engager dans les contrats de maintenance avec des privés (CRDA de Manouba & BICHE, 2006).

Durant les dix dernières années, beaucoup de progrès ont été réalisés dans la décentralisation de la gestion des ressources en eau, axés principalement sur des modes participatifs de gestion, accompagnés par un soutien technique et financier de l'Etat. L'investissement dans le secteur irrigué a connu une évolution qui reflète l'intérêt accordé par les différents acteurs à la mobilisation, à la conservation des ressources naturelles et à la consolidation de l'infrastructure et des structures d'encadrement. Pour la période du X^{ème} plan, la part de l'investissement hydraulique dans l'investissement agricole global est de l'ordre de 42 %.

En 2005, la Tunisie compte près de 418800 ha (plus de 50000 ha dans le delta de Mejerda, ill. n°78) de périmètres irrigables en intensif. Ils sont réalisés avec des investissements publics sur 217250ha, ce qui représente 52 % de la superficie irrigable ou avec des investissements privés sur 201550 ha ce qui correspond à 48 % de la superficie irrigable. Le secteur irrigué assure 35 % de la production agricole du pays, 95 % de la production maraîchère et 30 % des produits laitiers. Il contribue à la création de 27 % de l'emploi agricole et génère environ 20 % de la valeur des exportations agricoles (CRDA de Manouba & BICHE, 2006).

Toujours dans cet intérêt accordé au secteur irrigué il y a eu en 2006, programmation de près de 700 ha de cultures irrigables. Le lotissement de Zoghba couvrant 300 ha à Utique Ejdida et le lotissement d'El Fejja à Zhana couvrant 400 ha (c'est dans le cadre de la politique de mise en valeur des terrains marécageux).



ill. n°78 : Le delta de Mejerda : répartition des périmètres irrigués
(Elaboration personnelle à partir des données de MA & AHT, 1998)

3.2- Les systèmes de production :

3.2.1- Les structures agraires :

Dans le delta de Mejerda, la petite et moyenne exploitation familiale y dominent, soit 82,04 % (enquête personnelle 2007, annexe II). La proximité de la ville de Tunis et de son marché de consommation a fait de cette région la plus grande zone de production intensive des légumes et fruits. Les cultures céréalières en irrigué ou en sec dominent les grandes et les moyennes exploitations, notamment dans les plaines marécageuses (les propriétaires ont gardé l'ancien système de production bien qu'ils ont accepté et appliqué la réforme agraire

avec le lotissement et l'aménagement des exploitations, c'est le cas de Henchir sidi Thabet, cherfech1 et Cherfech 2...).

Durant les années 1950, l'organisation spatiale des cultures a conservé la marque de la colonisation. En effet, on y trouve, des grandes plantations viticoles, des grands domaines céréaliers, des douars de salariés agricoles et des villages-centres reliés par un réseau routier très dense. Aujourd'hui, on constate que le secteur irrigué conserve près de 1/3 de la surface du delta avec des plantations fruitières, des cultures maraîchères et des domaines céréaliers et fourragers parfois très vastes.

Le delta de Mejerda est caractérisé par une grande hétérogénéité foncière, résultant d'une longue interaction entre les campagnes de la basse vallée et la ville de Tunis. En effet, dans les plaines dominent les grandes et les moyennes exploitations appartenant au secteur organisé « grande hydraulique ou grande irrigation » ⁽⁹⁾ et à quelques gros exploitants, tandis que les micro-exploitations « familiales » se multiplient sur les piedmonts et les zones collinaires (Aousja, Bèjou, Ghar El Melh...). Ces dernières ne présentent plus un caractère de viabilité. Elles doivent plutôt être considérées comme un point d'attache familial fournissant, un revenu de travail pour les femmes et les filles. Dans le gouvernorat de Bizerte, cette agriculture productive couvre 30 % de la SAU, mais représente moins de 2 % des exploitants tout en consommant 60 % des engrais.

Dans le gouvernorat de la Manouba, aussi bien dans celle de l'Ariana, il y a une dominance des secteurs irrigués. L'agriculture concerne les gros exploitants privés et le domaine de l'Etat, géré par 2 agro-combinants de l'Office des Terres Dominales (OTD) sur 6800 hectares, 26 Sociétés de Mise en Valeur et de Développement Agricole (SMVDA) pour 13600 hectares, et 14 Unités Coopératives de Production Agricole (UCPA) pour 10400 hectares, distribués à des centaines de techniciens sous forme de lots.

Le secteur traditionnel « petites hydrauliques ou petites irrigation » ⁽¹⁰⁾, cantonné sur les pentes est extrêmement morcelé, 40 % des exploitants du delta disposent d'une superficie moyenne de 2.2 hectares seulement. Il demeure confiné à une agriculture de subsistance, qui «diminue les frais alimentaires du ménage » puisqu'elle reste en effet

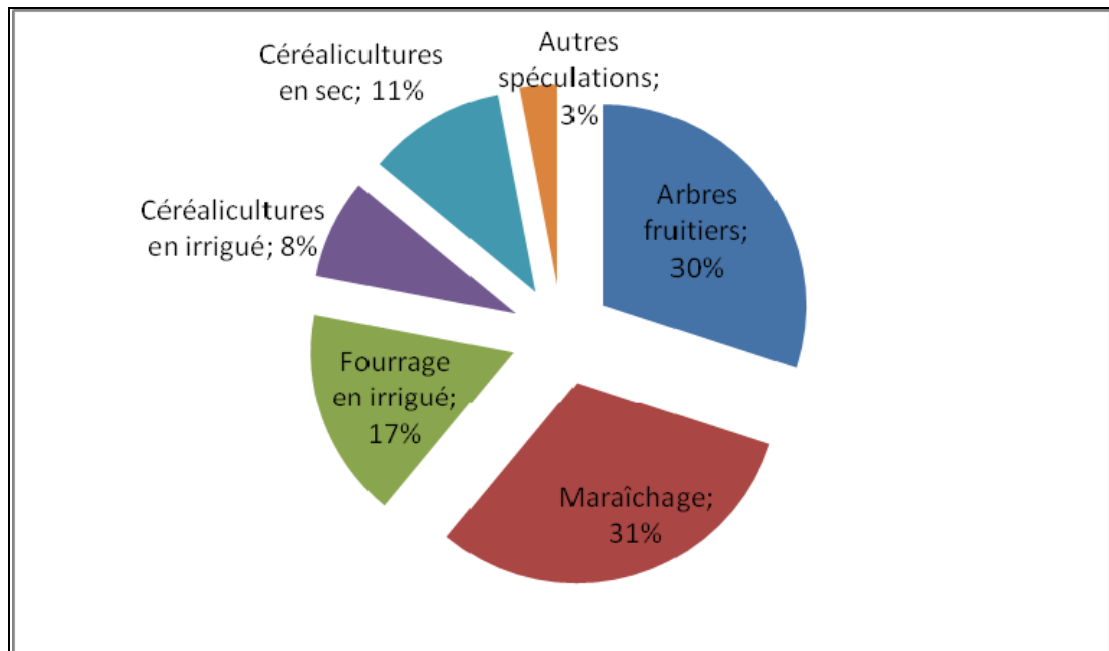
⁹ : « C'est celle des cultures maraîchères, des cultures fourragères, celle aussi du riz ou du coton...c'est une irrigation très étalée dans le temps, employant des doses massives ; des barrages, des réservoirs et des kilomètres de canaux », (VIBERT J., 1960).

¹⁰ : « C'est celle qui consiste à donner en période de sécheresse quelques centimètres d'eau à des arbres fruitiers, à des pieds de vigne, à des plantes menacées de dessèchement : la consommation de l'eau est très faible à l'hectare.. », (VIBERT J., 1960).

dominée par la céréaliculture, alors qu'elle dispose essentiellement de sols à vocation arboricole. Les équipements et les améliorations foncières sont très limités.

3.2.2- Evolution du système de production en irrigué dans le delta de Mejerda :

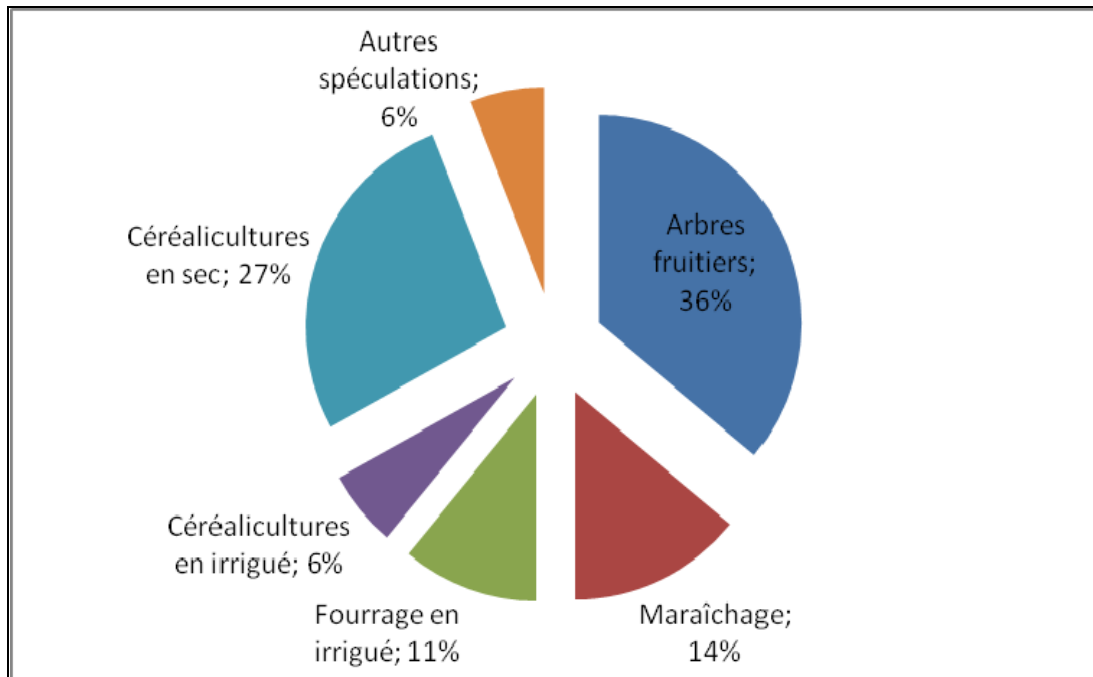
La plus part des périmètres irrigués ont été aménagés après 1958 (ill. n°75), c'est une raison pour laquelle on va insister beaucoup plus sur les changements de l'occupation-utilisation des sols pour la période 1974-2007. En effet, les représentations graphiques (ill. n°79 et n°80) de la répartition (occupation des sols) montrent un accroissement remarquable dans les superficies consacrées aux grandes cultures conduites en sec (+ 16 %), aux arboricultures fruitières (+ 6 %), et une nette régression des maraîchages (- 17 %) entre 1974 et 2007.



ill. n°79 : Occupation du sol dans les périmètres irrigués du delta de Mejerda en 1974 (Photographies aériennes 1974)

Il ressort des graphiques (ill. n°79 et n°80) qu'il y a une tendance vers l'arboriculture peu exigeante en eau. Cette spéculation est en fort accroissement dans le delta et surtout dans les secteurs irrigués.

Cependant, la superficie des arbres fruitiers s'élève à 10163.5 ha en 2007, avec un taux d'accroissement de l'ordre de 157 % entre 1974 et 2007. Au contraire, les surfaces occupées par l'olivier et la viticulture ont enregistré une régression de l'ordre de 33% et de 48 % respectivement pour la même période (ill. n° 81).

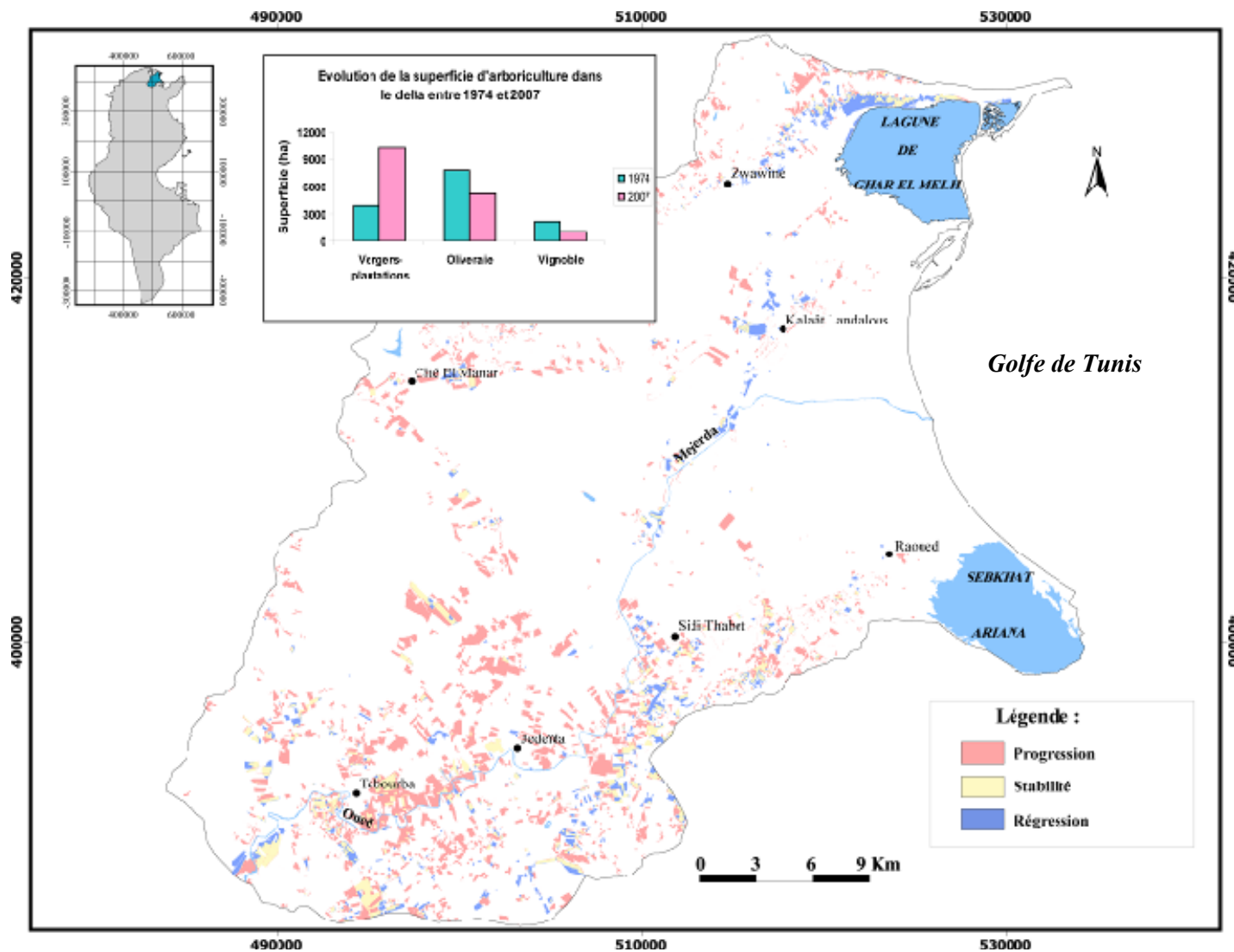


ill. n°80 : Occupation du sol dans les périmètres irrigués du delta de Mejerda en 2007 (Les ortho photos 2000 & Extraits Google Earth © & enquête personnelle 2007)

Les pommiers, poiriers et abricotiers (photos n°16, 17, 18 et 19) dominent cette catégorie (enquête 2007). Ils sont localisés essentiellement dans les exploitations de petite et moyenne taille où le rendement est de 10 tonnes/ha. L'essor de l'arboriculture à Tebourba comme exemple remonte aux années 1980. Certains agriculteurs possèdent des dizaines d'hectares comme le cas de « Sadok », qui possède 90 ha de poiriers et pommiers. La basse vallée de Mejerda détient 23 % de la superficie nationale des plantations de ces deux dernières spéculations (CHERIF A., 1998)

La régression de la superficie des cultures maraîchères est due essentiellement au dysfonctionnement du vieux réseau d'irrigation souvent à ciel ouvert et au prix de l'eau jugé trop élevé par toutes les personnes enquêtées (140 millimes/m³ ou 41.5 Dinars pour 8 heures d'irrigation).

La majorité des exploitants consacrent beaucoup moins de place que prévu aux cultures fourragères ; -27 % en 1974 et - 33 % en 2007, contre 44 % comme pourcentage prévu par le projet initial. Bersim en hiver et luzerne en été sont les spéculations qui prédominent les cultures fourragères dans la basse vallée de Mejerda (SETHOM H. & KASSAB A., 1981).



ill. n°81 : Evolution de la superficie d'arboriculture dans le delta de Mejerda entre 1974 et 2007. (Photographies aériennes 1974, et extraits d'images Google Earth ©2007).



Photos n°16, 17, 18 et 19 : Quelques variétés (pommiers, poiriers, abricotiers...) dominant l'arboriculture dans le delta de Mejerda.

La régression continue de la superficie des cultures fourragères est en rapport direct avec la situation de l'élevage bovin et la commercialisation des produits laitiers. C'est ce qu'on va traiter dans les paragraphes qui suivent.

Les pommes de terre, les tomates, les piments en particulier « Zina », l'artichaut et quelques autres spéculations dominent les cultures maraîchères du delta de Mejerda (photos n°20, 21 et 22) (enquête personnelle 2007). En général, la basse vallée détient 16.5 % des cultures en pomme de terre de la Tunisie, 14.5 % des cultures de tomate (CHERIF A., 1998).

Les superficies en cultures annuelles sèches restent importantes, plus du ¼ de la superficie des périmètres irrigués en 2007. Ce sont surtout des céréales (orge, blé dur et blé tendre) pour l'autoconsommation et des légumineuses, surtout des fèves.



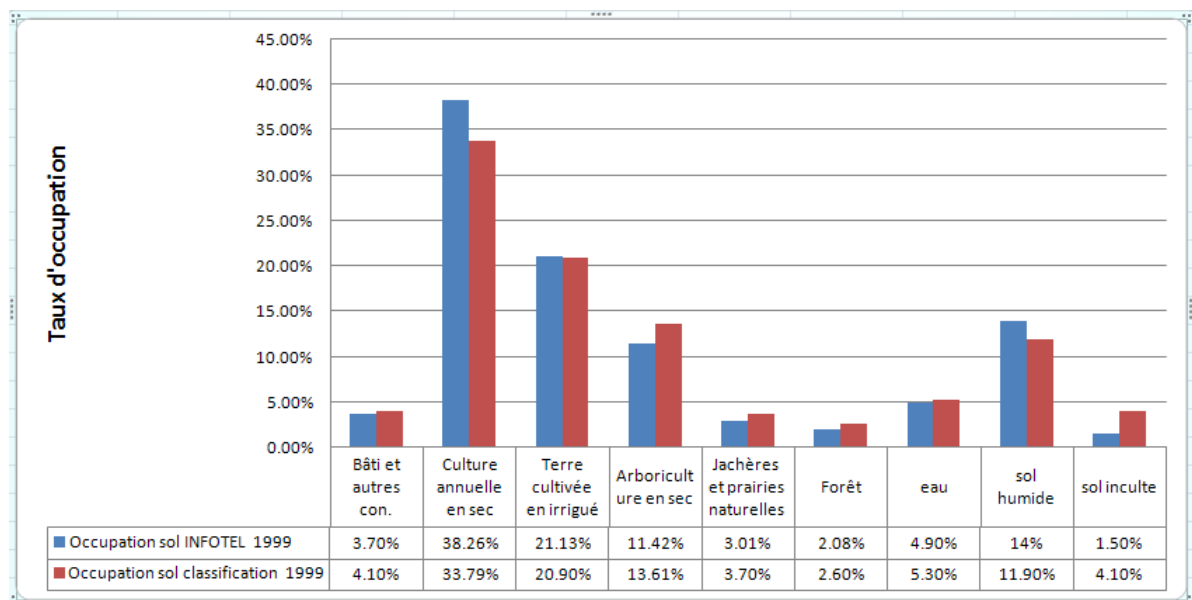
Photos n°20, 21 et 22 : Quelques spéculations qui caractérisent le maraîchage dans le delta de Mejerda.

La superficie effectivement irriguée en 1975-1976 a atteint 12090 ha soit un peu plus de 50 % de la superficie cultivée (SETHOM H. & KASSAB A., 1981). En 2007, le taux d'exploitation a diminué encore, soit 39 % de la superficie équipée contre un taux d'exploitation de l'ordre de 100 % prévu au début du projet.

Les matrices (tableaux n°4 et n°5, 3^{ème} chapitre, 1^{ère} partie), mettent en évidence des confusions majeures entre la classe «terre cultivée en irrigué» et la classe «forêt» dans la classification supervisée de l'image 1988. En plus, des confusions entre la classe thématique

«terre cultivée en irrigué» et les classes « eau» et « jachères et prairies naturelles » lors de la classification de l'image satellitale de 1999. Pour améliorer la qualité des résultats, on a appliqué des « fusions dirigées » qui consistent à importer que les classes jugées mieux classées dans la classification supervisée de chaque image. Cette opération a été assurée par le logiciel IDRISI (*Kilimandjaro*). La fusion ne concerne que certaines classes choisies par nous même. A titre d'exemple la confusion de certaines classes avec la classe « eau » (classification de l'image 1999), nous a obligé à améliorer cette dernière. La fusion dirigée permet de remplacer seulement les pixels classés en « eau » et qui n'apparaissent pas d'une manière nette sur la classification. L'amélioration de la qualité de la classification supervisée de l'image 1988, ainsi que l'utilisation de la bande XS1, nous a permis de mieux discriminer l'eau, de brosser un portrait de l'usage des terres et de compter à travers les statistiques des classes près de 25000 hectares seulement en irrigués.

Les données relatives à l'occupation du sol en 1999 fournies par la Direction Générale des Forêts DGF), offrent des éléments de validation, au niveau des cultures de la classification obtenue par télédétection. Globalement, les valeurs comparées de la calasse « terre cultivée en irrigué » paraissent satisfaisantes (21.13% et 20.9%). En 1999, on arrive a dénombré près de 27379 hectares cultivés en irrigué.



ill. n°82 : Comparaison des proportions de l'occupation du sol d'après les données INFOTEL 1999 et la classification supervisée de l'image Spot/XS 1999 (CNT, DGF et DGRF 1999 ; CNES, 1999).

Concernant les changements intra-annuels dans le système de production en irrigué, on insiste sur le fait que les cultures sont très variées d'une saison à une autre. Pendant

l'hiver, les spéculations qui marquent le paysage de Ghar El Melh jusqu'à Tebourba sont très hétérogènes : légumes à feuilles, légumes à racine, pommes de terre, choux, navets, carottes, persil, blettes, épinards, salades ; laitues et romaines,... pour l'artichaut, il est cultivé seulement par les exploitants qui ont un accès permanent à l'eau.

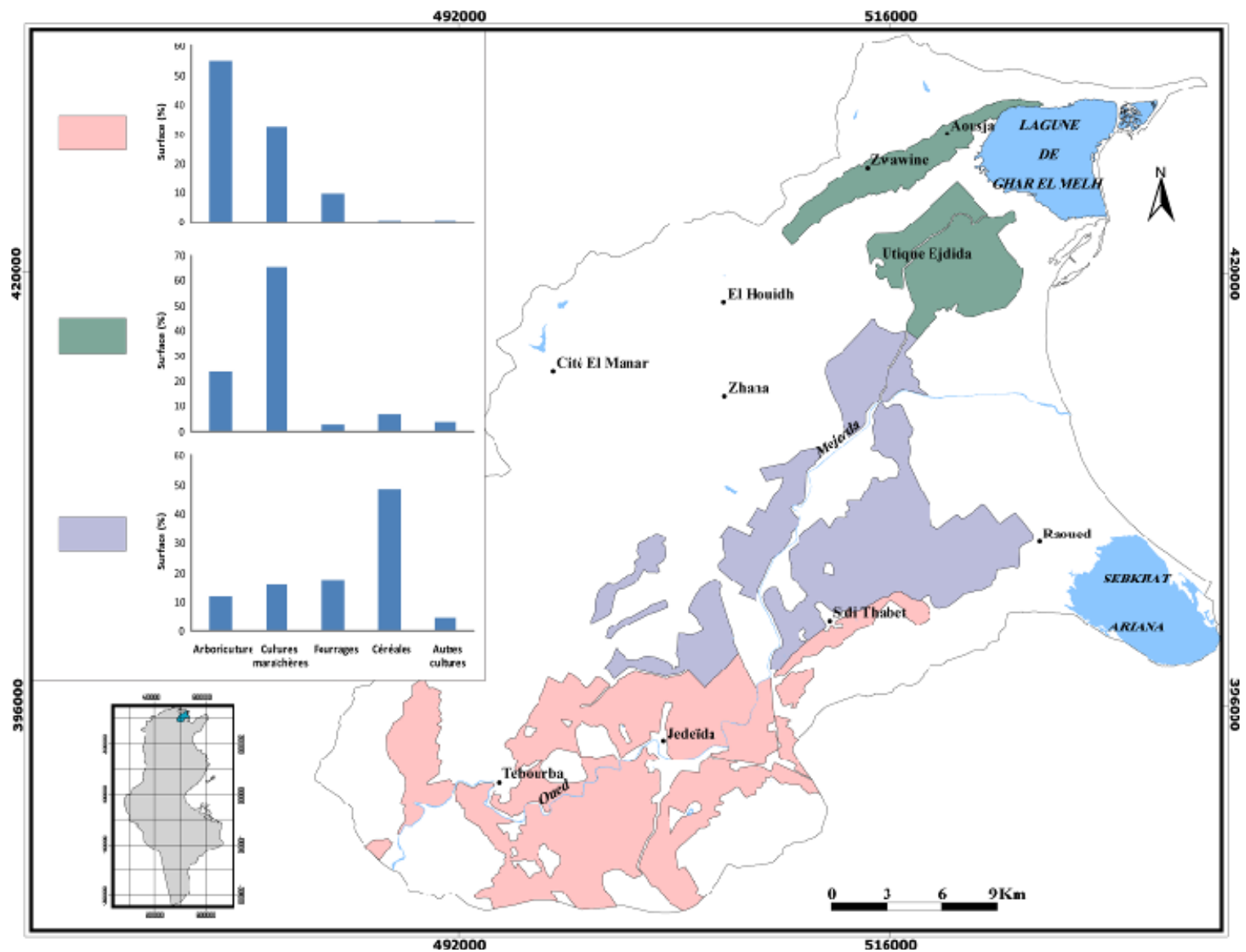
Les cultures d'été sont plutôt dominées par les tomates (grand favori dans le delta), les piments. Les pastèques et les melons sont plantés pour l'autoconsommation. Certains agriculteurs ont loué des terrains à l'extérieur de leurs lotissements, sur des terres qui ont un accès direct à l'eau de Mejerda (le cas du Pont de Bizerte) et ont planté parfois plusieurs hectares en melons. Au cours de la réalisation de l'enquête socio-économique (juin-juillet 2007) on a remarqué que d'autres cultures telles que : les haricots verts, les oignons...occupent des surfaces très réduites. Ils sont toujours influencés par le « sirocco » pendant la florescence.

Généralement, pour pratiquer la culture intensive irriguée, il faut connaître les caractéristiques et les besoins si différentes de chaque espèce et de chaque variété. Il faut savoir manier les rotations qui éviteront d'épuiser le sol. Il faut bien avoir l'art d'utiliser l'espace cultivable, l'art d'utiliser les bordures et les intercalaires, en mariant plantes et arbres qui peuvent croître ensemble et se développer sans se gêner.

3.3- Typologie des périmètres irrigués du delta de Mejerda :

L'occupation des sols dans les périmètres irrigués du delta est très hétérogène. Une représentation matricielle basée sur les pourcentages des superficies réservées pour chaque spéculation (arboriculture, cultures maraîchères, fourrages, céréales et autres cultures) est effectuée pour les 34 périmètres. On a retenu finalement trois graphiques types (ill. n°83) qui caractérisent au mieux l'occupation des sols et les systèmes de productions :

- Premier type : Il représente les périmètres qui se trouvent en amont du delta (Tongar, Chouigui, Zouitina, Bir Aouini, Sidi Neji, Mansoura, El Battan, Tebourba, Nefissa, Hammed, Guechba, Mornaguia, Hbibia Sud, Hbibia Nord, Douar El Bey, Jedeïda et Béjaoua dans le gouvernorat de la Manouba, ainsi que Jebel Ammar Sud et Jebel Ammar Nord dans le gouvernorat de l'Ariana). L'essentiel des superficies est valorisé par l'arboriculture (55 %), les cultures maraîchères (32%) et les fourrages (10 %) dans des petites (3 ha) à moyennes exploitations (10 ha).
- Deuxième type : Il représente la partie centrale du delta (périmètres de Chaouât, Chougafa, Gantouria, Lezdine, Cherfech, Sidi Thabet, Borj Touil et Henchir Tobias).



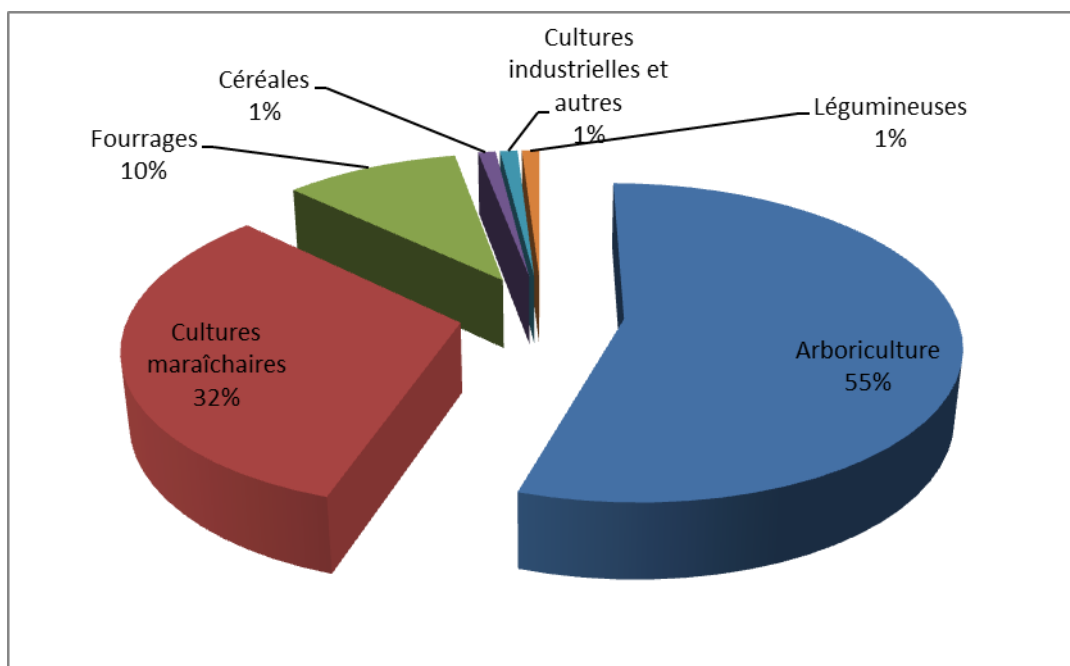
ill. n°83 : Typologie des périmètres irrigués du delta de Mejerda. (MA & AHT, 1998 ; CRDA de MANOUBA & BICHE, 2006 ; BD ortho photos 2000 ; extraits Google Earth © 2007 ; enquête personnelle 2007).

L'essentiel des superficies est valorisé par les cultures céréalières (49 %), les cultures fourragères (18 %), les cultures maraîchères (15 %) et l'arboriculture (13 %) dans des moyennes à grandes exploitations (50 ha).

- Troisième type : Il regroupe les périmètres irrigués de Kalaât Landalous, d'Utique Ejdida, de Zwawine et d'Aousja. L'essentiel des terres est valorisé par les cultures maraîchères (65 %), notamment à Kalaât Landalous et à Aousja et par l'arboriculture (24 %). Les cultures céréalières occupent la troisième position avec 8 %. Par contre les cultures fourragères sont presque marginales (3 %). Dans ce type, la majorité des exploitations sont de taille moyenne et parfois elles sont très morcelées (Ghar El Melh).

3.3.1- Caractéristiques des périmètres irrigués de Manouba :

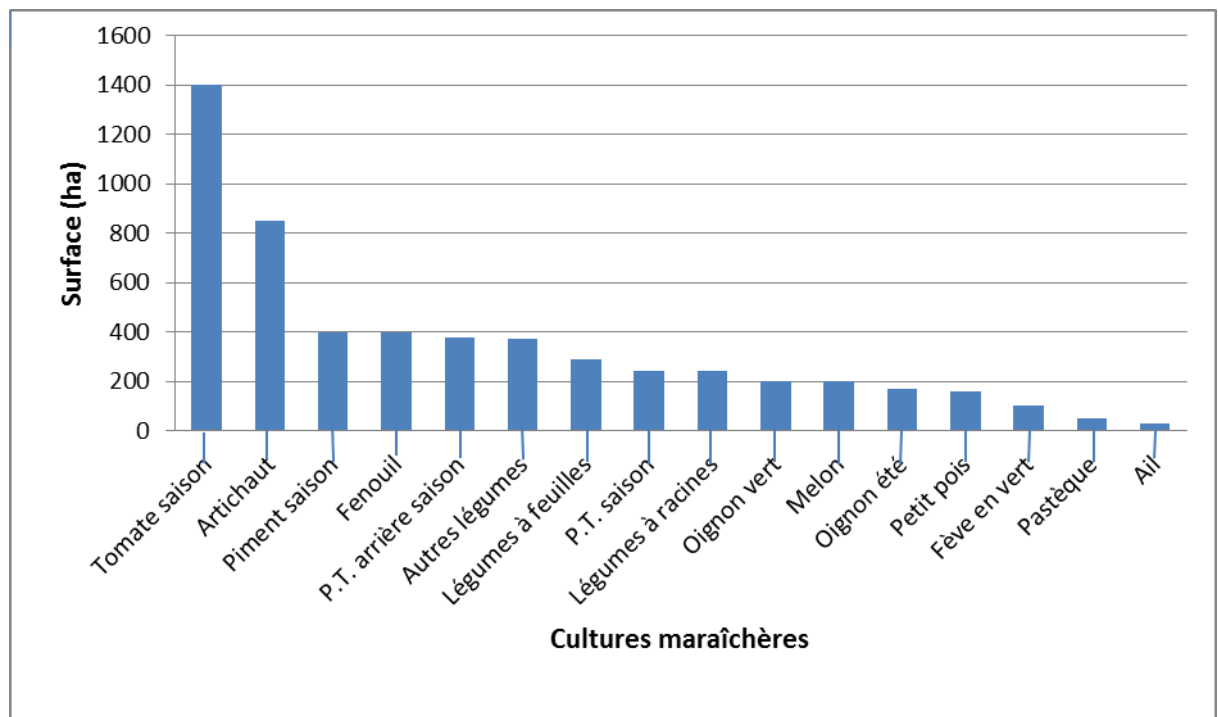
L'enquête sur les périmètres en intensif réalisée en 2005 (CRDA de Manouba & BICHE, 2006) compte environ 16722 ha dont $\frac{3}{4}$ public. La superficie des cultures irriguées en 2005 s'élève à 75.8 % ce qui représente 4.2 % de la superficie des cultures irriguées du pays. Le taux d'utilisation est de 56 %. Le taux d'intensification est de 60% (la moyenne nationale étant de 78 % et 85 % respectivement), (CRDA de Manouba & BICHE, 2006). Les périmètres privés se caractérisent par un taux d'intensification et d'utilisation de l'ordre de 69 % et 68 % respectivement, ce qui les place en meilleure position par rapport aux périmètres publics en matière de valorisation des superficies équipées.



ill. n°84 : Occupation du sol des périmètres irrigués de la Manouba en 2005 (CRDA de Manouba & BICHE, 2006)

L'arboriculture et les cultures maraîchères occupent respectivement, 55 % et 32 % de la superficie totale irriguée (ill. n°84). Les cultures fourragères viennent en troisième position avec 10%. Les céréales et les légumineuses sont marginales (1%). Ainsi, l'essentiel des superficies irriguées est valorisé par l'arboriculture et les cultures maraîchères.

Les superficies des cultures maraîchères sont occupées par différentes spéculations. Il est à noter l'importance de la portion qu'occupe la tomate suivie de l'artichaut, du piment, du fenouil et de la pomme de terre arrière saison (ill. n°85). Ces cinq cultures occupent 65% de la superficie maraîchère irriguée.



ill. n°85 : Classification des cultures maraîchères en irrigué de la Manouba par ordre d'importance (superficie cultivée), (CRDA de Manouba & BICHE, 2006)

La situation de l'agriculture dans les anciens périmètres du delta de Mejerda (gouvernorat de la Manouba) se caractérise par le niveau technique élevé des irrigants qui bénéficient aussi de la proximité de l'un des plus grand marché du pays. Les circuits d'approvisionnement et d'écoulement de la production sont relativement maîtrisés. La prédominance des superficies arboricoles reflète d'énormes efforts d'investissement.

Les possibilités d'accroître la production et d'améliorer le taux d'intensification des périmètres de la Manouba sont réelles. En effet, les rendements enregistrés les trois dernières années pour les principales cultures maraîchères (tableau n°11) peuvent être sensiblement améliorés moyennant une utilisation rationnelle des facteurs de production.

Tableau n°11 : Les rendements des principales cultures maraîchères dans les périmètres du gouvernorat de Manouba

Cultures	Rendements en Qx/ha
Tomate saison	679.7
Artichaut	59.2
Piment saison	65.3
Fenouil	109.1
P.T. arrière saison	125.5
P.T. saison	140
Oignon vert	68.8
Melon	134.7
Oignon d'été	92.9
Petit pois	17.5

Source : CRDA de Manouba et BICHE, 2006.

Le changement de l'échelle (spatiale) d'observation permet encore de voir des détails au niveau de chaque périmètre, voire au niveau de chaque parcelle.

3.3.2- Etude de cas : Le périmètre irrigué de Hammed.

Ce périmètre représente un échantillon-modèle de la transformation dans les structures de production en irrigué.

3.3.2.1- Le milieu humain et structure des exploitations :

Le secteur irrigué de Hammed compte 106 agriculteurs privés détenant une superficie de 1400 ha dont 400 ha ne sont plus irrigués à cause de l'état défectueux du réseau. Agés de 30 à 75 ans, ces agriculteurs sont à 80 % propriétaires des terres qu'ils exploitent, tandis que les 20 % restants sont des métayers ou locataires. L'agriculture constitue l'unique activité pour 60 % des exploitants alors que 20 % travaillent en plus comme salariés agricoles pour améliorer le revenu insuffisant qu'ils tirent de leurs propres exploitations. La dernière catégorie d'exploitants exercent des emplois non agricoles et pratiquent l'agriculture comme activité secondaire.

Concernant la structure des exploitations, le tableau suivant nous montre que les exploitations de taille inférieure à 3 ha représentent 22 % du total avec 6 % de la superficie des terres irriguées.

Tableau n°12 : Classification des exploitations par strate

Taille	Nombre d'exploitations	%	Superficie (ha)	%
< 3ha	34	22	60	6
De 3 à 10ha	101	65	520	52
>10ha	21	13	420	42
Total	156	100	1000	100

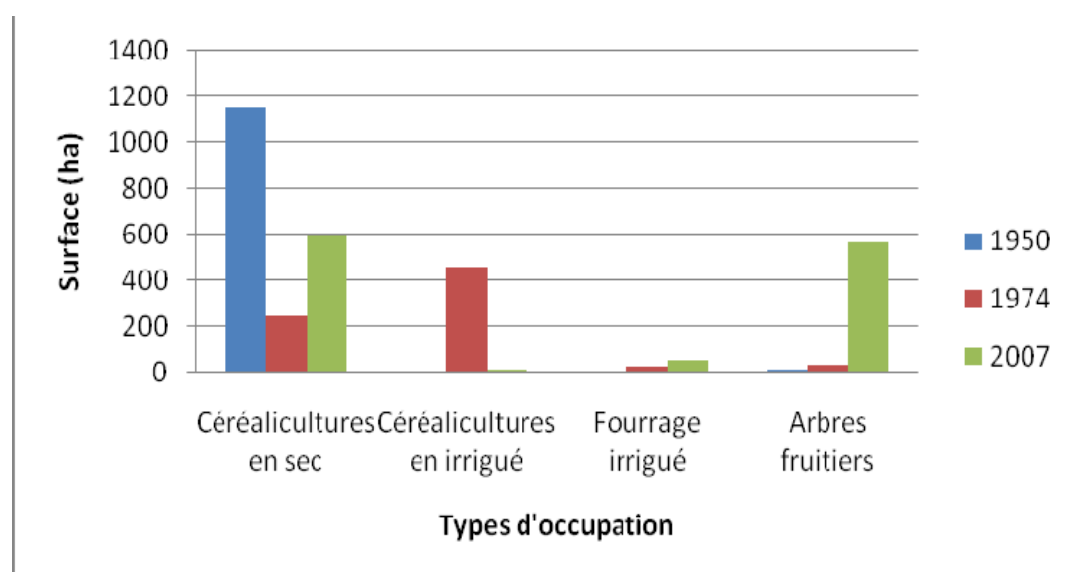
Source : CRDA de Manouba & BICHE, 2006

La taille moyenne comprise entre 3 et 10 ha est la prépondérante puisqu'elle concerne 65 % des exploitations et 52 % de la superficie irriguée. Les grandes exploitations dont la superficie dépasse 10 ha, sont au nombre de 21 unités, occupant ainsi une superficie de 420 ha, soit 52 % de l'ensemble du périmètre (CRDA de Manouba & BICHE, 2006).

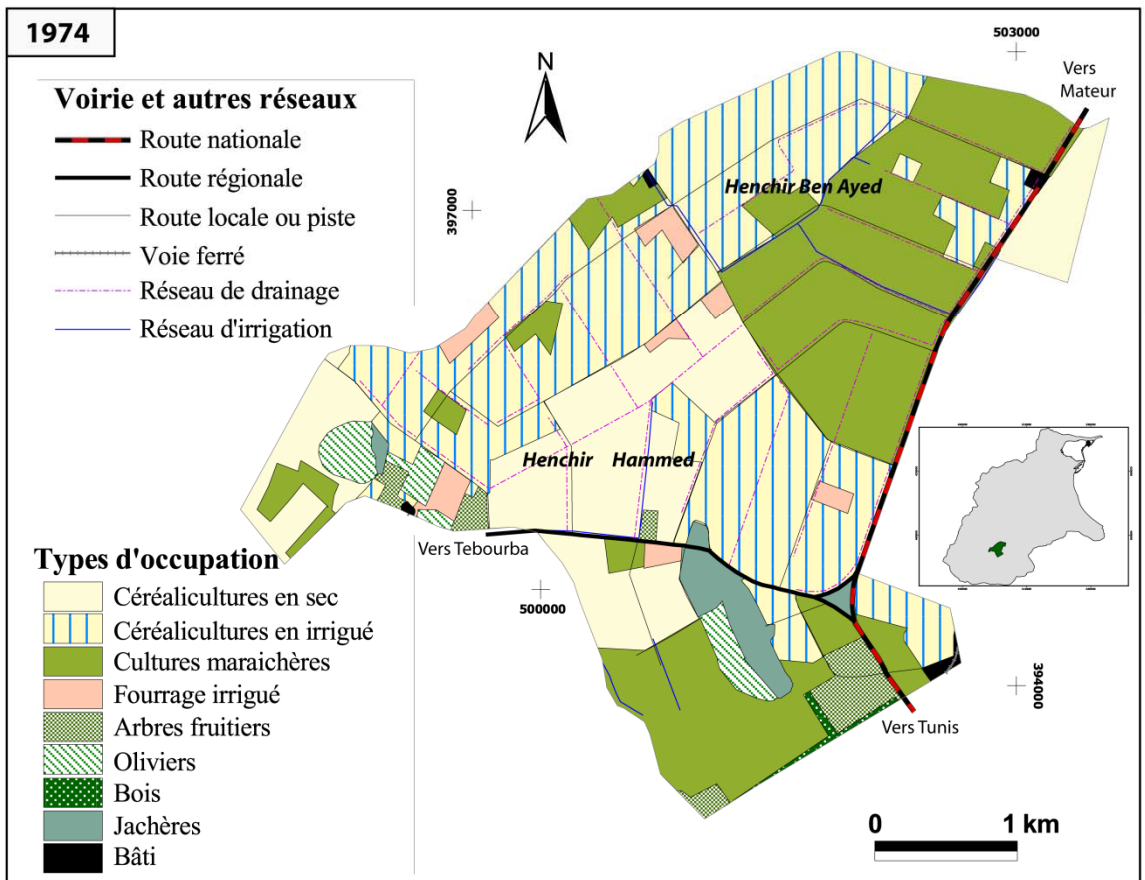
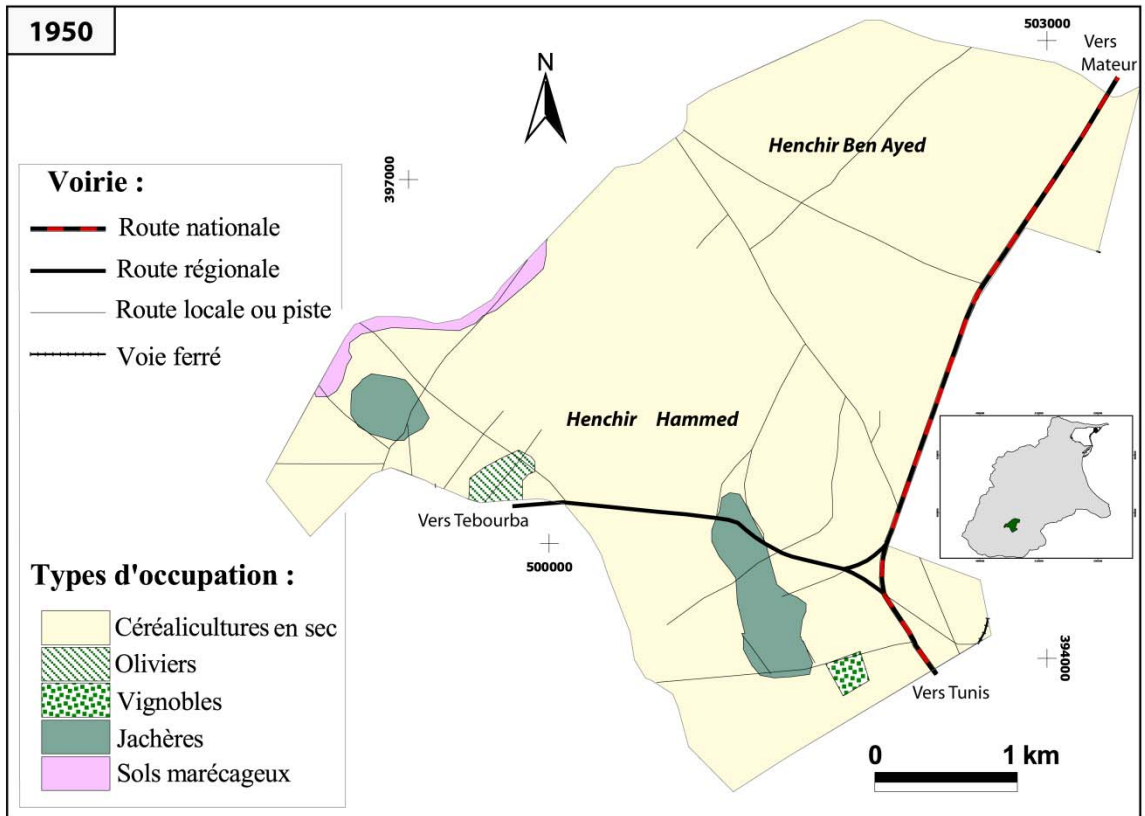
3.3.2.2- Evolution de l'occupation du sol et des rendements :

Le système de culture, appliqué au secteur de Hammed, a évolué au cours des dernières années pour s'adapter à l'état du réseau d'irrigation et aux volumes d'eau (en régression) qu'il peut assurer aux agriculteurs. Ainsi les grandes cultures, conduites généralement en sec, et l'arboriculture fruitière, relativement peu exigeante en eau, sont les prédominantes spéculations dans le périmètre (ill. n°86, 87 et 88).

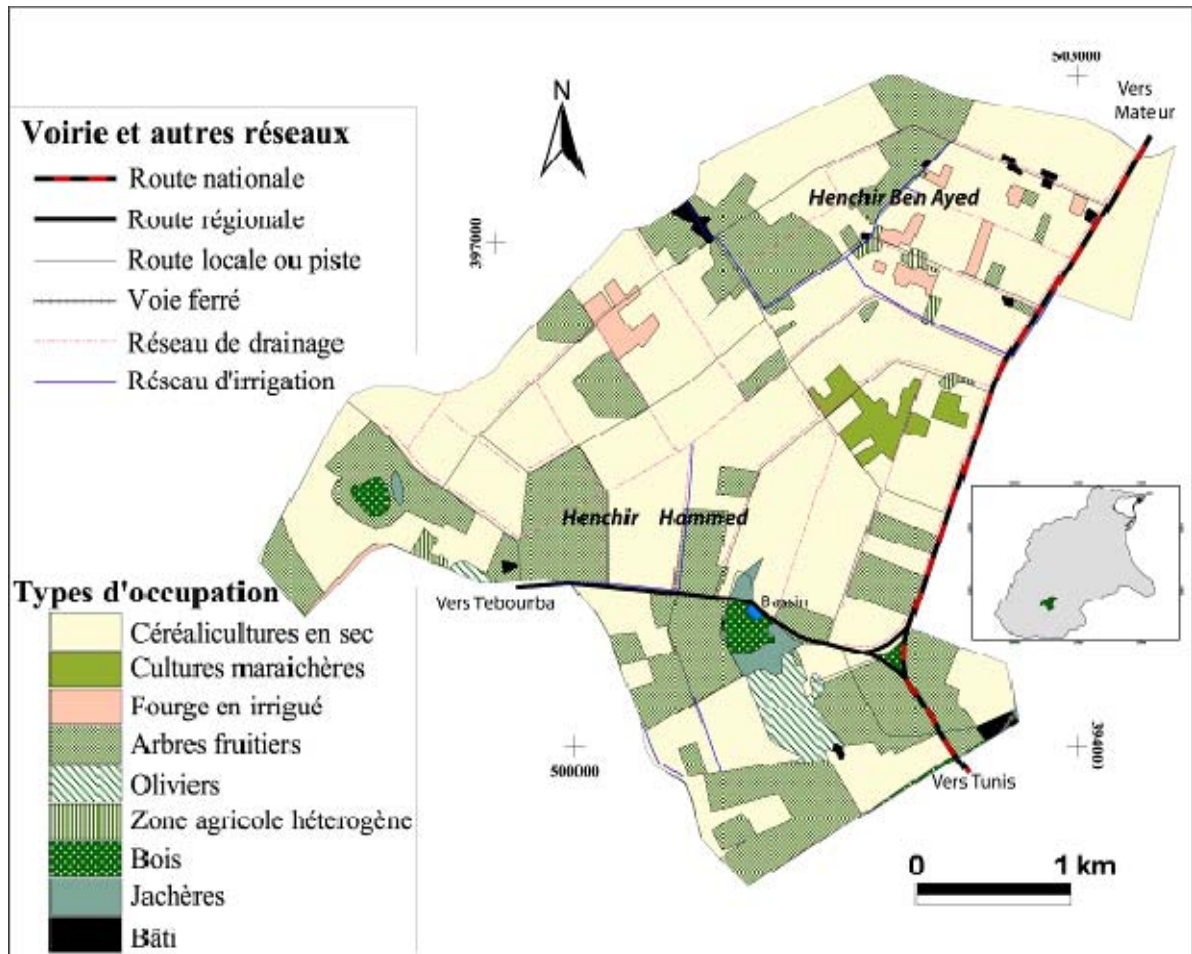
Le maraichage se réduit à la seule culture de l'artichaut, alors que la tomate, le piment et les cucurbitacées, mentionnées par les services locaux, sont en voie de disparition car elles n'ont été rencontrées chez aucun agriculteur enquêté (2007).



ill. n°86 : Evolution du système de culture au secteur de Hammed entre 1950 et 2007 (Cartes topographiques au 1/50000, photographies aériennes-1974 et extraits Google Earth 2007)



ill. n°87 : Evolution de l'occupation du sol dans le périmètre de Hammed entre 1950 et 1974 (Cartes topographiques au 1/50000, photographies aériennes 1974)



ill. n°88 : L'occupation du sol dans le périmètre irrigué de Hammed en 2007 (extraits d'images Google Earth© 2007).

Les céréales cultivées en sec par des agriculteurs de moins en moins motivés occupent une superficie de 530 ha et donnent partout un rendement de 1.5 à 2 tonnes/ha à l'exception toute fois des exploitations où le blé entre en assolement avec l'artichaut, le bersim et la luzerne et bénéficie des résidus de fumure minérale et organique apportés à ces cultures ainsi que d'une à deux irrigations d'appoint. Dans ce cas le rendement atteint 4 tonnes/ha (CRDA de Manouba et BICHE, 2006).

Le verger d'arbres fruitiers, composé de pommier, poirier, pêcher et grenadier occupe une superficie de 570 ha. La moitié de la superficie a été plantée au cours des 5 dernières années pour remplacer une partie des plantations sénescentes ou les cultures d'été fort exigeantes en eau. Ces jeunes plantations (âgées de 2 à 5 ans) qui viennent d'entrer en production sont en bon état et pourront donner prochainement des rendements de 20 à 25 tonnes/ha. L'autre moitié, constituée de vieilles plantations de pommier et de grenadier mal entretenues et subissant en plus l'effet des ruptures d'eau en été, donnent des rendements de l'ordre de 5 tonnes/ha (CRDA de Manouba et BICHE, 2006).

L'artichaut, une culture bien ancrée dans la zone, continue à être pratiqué dans la zone en partie parce que la phase de croissance active de son cycle végétatif coïncide avec la saison des pluies ce qui limite considérablement ses besoins en eau d'irrigation. Son rendement moyen varie de 6 à 8 tonnes /ha (enquête personnelle 2007).

La superficie des cultures fourragères (bersim, sorgho, maïs) a augmenté de 130 % entre 1974 et 2007. Elles sont cultivées pour les besoins du cheptel propre des agriculteurs et donnent des rendements de fourrages en vert de 40 à 50 tonnes/ha (enquête personnelle 2007).

3.3.2.3- Quelques facteurs explicatifs de cette transformation dans les structures de production à Hammed :

Les agriculteurs enquêtés sont unanimes sur le fait que le réseau d'irrigation, installé depuis plus de 40 ans, est devenu trop vétuste. Il ne remplit plus son rôle et constitue une contrainte majeure au développement agricole du secteur de Hammed. Les canaux ont atteint un état de détérioration tels qu'ils sont devenus à certains endroits non utilisables, privant totalement d'eau une superficie estimée par les services locaux du CRDA à 400 ha (CRDA de Manouba & BICHE, 2006).

Les agriculteurs financièrement aisés et situés à proximité de l'oued ont installé des équipements de pompage sur la Mejerda pour continuer l'exploitation en irrigué. Ceux qui n'ont pas suffisamment de moyens ont semé des céréales en sec et sont partis travailler comme salariés agricoles chez d'autres exploitants plus fortunés.

Le mauvais état des conduites encore fonctionnelles cause d'importantes fuites d'eau pendant son transfert de la station de refoulement à la parcelle. Ainsi, les conduites qui desservent un quartier de 7 agriculteurs ne permettent plus de desservir qu'un seul d'où :

- Des tours d'eau moins fréquents en été dont l'effet se répercute directement sur la croissance et le développement des cultures.
- Un volume d'eau facturé à l'agriculteur qui serait supérieur au volume réellement consommé, d'où l'idée que l'eau revient trop chère quel que soit le prix pratiqué.

En plus, les cultures d'hiver n'étant pas très répandues dans la zone, ceux qui veulent en faire ne peuvent pas être desservis en eau car ils ne sont pas nombreux. Il semblerait qu'il ne soit pas techniquement possible ni économiquement rentable de transférer un faible volume d'eau sur une grande distance pour desservir seulement 1 ou 2 exploitants (CRDA de Manouba & BICHE, 2006).

Les agriculteurs se plaignent également du vol d'eau par d'autres exploitants situés à l'amont, ce qui constitue une autre source de fuite qui s'ajoute à celle des conduites d'où un débit encore plus faible et un coût plus élevé.

3.3.3- Le cas du secteur de Ghar El Melh : une agriculture irriguée bien particulière.

Avec le déclin des activités maritimes (course puis pêche), la rigidité du milieu physique, la population de Ghar El Melh n'a d'autre solution que de tirer profit des moindres potentialités de son territoire.

Depuis le 17^{ème} siècle, les Maltais et les Andalous qui se sont installés dans la région, ont essayé de trouver des solutions, à savoir « étendre l'espace agricole vers l'amont aux dépens de la montagne et vers l'aval aux dépens de la lagune » (CHERIF A., 1993).

3.3.3.1- Les terrasses :

Aujourd'hui, le secteur de Ghar El Melh se distingue du reste de la région par son mode d'exploitation du sol. En effet, on y rencontre des terrasses de culture sur le versant sud de Jebel Ennadhour. Ils sont composés de pierres sèches destinées à mieux retenir la terre. Les sols nécessaires sont transportés de la partie inférieure du piedmont. Ces terrasses sont construites sur un sol perméable (grès de Porto-Farina) et sont protégés et individualisés essentiellement par des cactus et des roseaux.

Les terrasses qui ont des pentes supérieures à 20 % représentent 12 % et sont livrées à la culture sèche. Les terrasses irriguées cultivées essentiellement en pomme de terre, deux fois par an, intercalent aussi des cultures de piments, tomates, melons, pastèque... (CHERIF A., 1993). Ce type de culture relève un problème d'irrigation, notamment à l'Est de Ghar El Melh où les ressources en eau deviennent rares.

3.3.3.2- Les Gtaïas : une forme de poldérisation en évolution continue.

Les Gtaïas constituent des micro-parcelles, gagnées "par une forme de poldérisation", sur la lagune de Sidi Ali El Mekki. Elles sont individualisées par des piquets métalliques et des ficelles ou par la plantation de roseaux. Les sols nécessaires sont transportés du piedmont de Jebel Ennadhour (sols riches en matière organique). Plusieurs îlots sont remblayés de sable rapporté du cordon de « Chatt El Hay ». « Grâce à des apports en fumure naturelle, la texture sableuse évolue à son tour en sol très favorable aux cultures maraîchères, notamment la culture de pomme de terre (CHERIF A., 1993).

Les Gtaïas sont irriguées naturellement, par le bas, grâce au mouvement de percolation d'une petite nappe d'eau douce en rapport avec la marée. En effet, par marée haute, les racines des plantes peuvent être touchées par l'eau douce de la nappe hypodermique à conditions que le niveau de la surface cultivable ne sera ni très bas (risque de salinisation), ni très élevé (l'eau douce n'atteint pas les racines).

Pendant les années 1950, les parcelles observées (carte topographique de Porto Farina au 1/50000) sont très éclatées (parcelles microscopiques) alors qu'au début des années 1980 (carte topographique de Ghar El Melh N.E au 1/25000) et même pendant l'an 2000 (la base de données orthophotos 2000), on assiste plutôt à une sorte de regroupement et une extension de la surface des îlots cultivés. Cela est en rapport avec la politique de chaque paysan qui vise à étendre el Gataïa de proche en proche (sachant que le paysan n'a pas le droit de créer une nouvelle Gataïa là où il veut).

Les Gtaïas sont irriguées jusqu'à deux fois en 24 h, mieux en année pluvieuse qu'en année sèche (CHERIF A., 1993). La fermeture des passes entre la lagune et la mer a tendance à perturber l'équilibre de ce système d'irrigation naturel, originaire de la lagune de Sidi Ali El Mekki et de ses environs. La pomme de terre est la culture la plus adéquate dans le sol des Gtaïas. Elle peut être cultivée deux fois par an entre lesquelles s'intercalent d'autres cultures maraîchères.

3.3.3.3- Les polders gagnés sur les berges nord de la lagune de Ghar El Melh :

Il s'agit des petits agriculteurs qui ont gagné des îlots aux dépens de la lagune par entassement. La frange bordière de la lagune à forte quantité de sel est profondément transformée par des apports en terre et en fumier. Les sols nécessaires sont transportés généralement à partir de Jebel Ennadhour. Les terroirs sont minuscules (photo n° 23), parfois ils sont loués annuellement, à titre d'exemple un îlot de 300m² au bord de la lagune est loué à raison de 200 dinars. Ces agriculteurs pratiquent la culture irriguée, grâce à la présence de l'eau (grâce à la présence de plusieurs puits au piedmont de Jebel Ennadhour ou l'eau de l'oued Mejerda), et c'est la culture de la pomme de terre qui domine.

En dépit de la perturbation du système agro-halieuque et après les différents aménagements, le terroir de Ghar El Melh demeure un espace de polyculture intensive à dominante familiale. Il associe l'arboriculture aux cultures annuelles, les cultures sèches aux cultures irriguées. Sur les versants sud de Jebel Ennadhour, les habitants cultivent des arbres

fruitiers, puis des cultures maraîchères associées à quelques arbres fruitiers. Enfin ils pratiquent essentiellement de la pomme de terre, oignons, l'ail et quelques légumes.



Photo n°23 : Ilot gagné sur la rive Nord de la lagune de Ghar El Melh.

4- L'élevage et la pêche dans le delta de Mejerda :

4.1- L'élevage bovin constitue un objectif principal de la réforme agraire dans le delta de Mejerda :

Le secteur d'élevage bovin a connu deux phases :

- Une amélioration accompagnée de plusieurs difficultés.
- Une restructuration et l'émergence d'un « bassin laitier ».

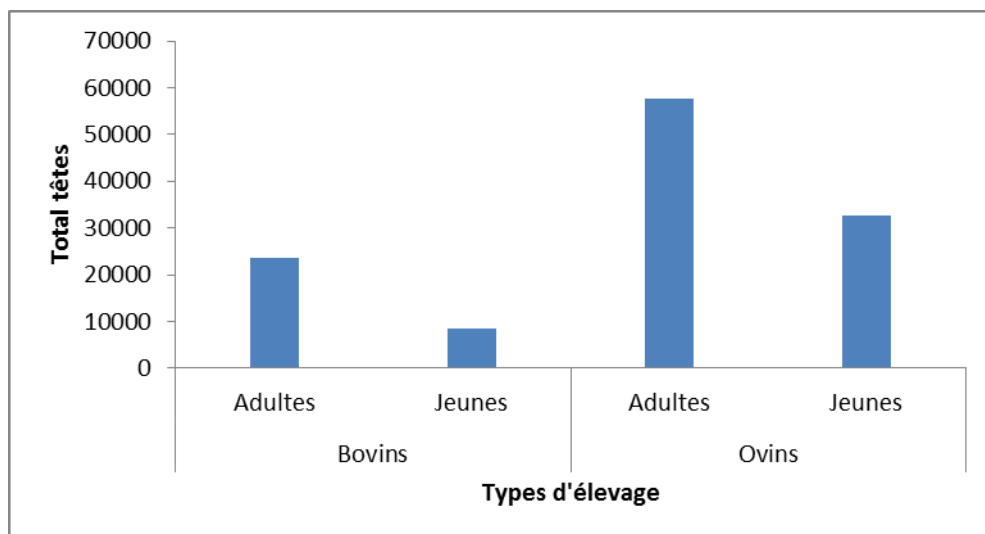
4.1.1- Jusqu'à 1981 : Une amélioration de l'élevage bovin accompagnée de plusieurs difficultés.

Développer l'élevage bovin, et en particulier, l'élevage des vaches laitières, est un but mainte fois cité au cours des années 1960 par l'Etat indépendant. A l'exception de l'établissement d'élevage de Sidi Thabet et de quelques fermes à Borj Toumi et Protville (Gantaret Bizerte), cette activité reste marginale et non organisée jusqu'à la fin de la période

coloniale. En effet, les produits importés annuellement (lait concentré, beurre, fromage) représentent entre 40 à 50 millions de litres de lait (VIBERT J., 1960). L'élevage bovin mérite donc une attention particulière dans les programmes de mise en valeur.

Jusqu'à l'application de la réforme agraire, le problème essentiel de l'élevage surtout bovin dans le delta était celui de l'alimentation. En effet, les bêtes de race pure ont été plus fragiles que les bons vieux bâtards. Ces derniers résistent mieux à la faim et aux maladies. En plus, il y a eu une difficulté liée à l'inertie des éleveurs et les pasteurs restés attachés à leurs préjugés et à leurs habitudes. Il faudrait aussi insister sur le fait que la part donnée à l'élevage dans les programmes de financement, était toujours très faible, pour la bonne raison, si faibles qu'ils soient, les crédits n'étaient pas intégralement dépensés. (VIBERT J., 1960).

Le développement de l'élevage surtout des bovins a été étroitement lié à la définition et à l'application d'une politique laitière. Pour l'OMVVM l'activité « Elevage » n'a pu démarrer qu'en 1959-1960. Ça consiste d'abord à recenser l'ensemble du Cheptel du périmètre. Les ovins constituent le cheptel le plus important en 1960 (ill. n°89).



ill. n°89 : Recensement du cheptel des périmètres irrigués de la basse vallée en 1960 (OMVVM, 1960)

Les unités coopératives ont joué un rôle important dans l'émergence d'un secteur laitier semi-intensif, grâce au développement d'un cheptel de race croisée à potentialités laitières moyennes (CHERIF A., 1994). Jusqu'au début des années 1970, la stratégie a consisté à améliorer le secteur « élevage » par l'intégration des vaches de race sélectionnée (Pie-Noire de Hollande). La basse vallée a possédé environ 7000 vaches.

Le rendement reste faible, le tiers des vaches fournit près de 3000 l/an, pour les autres, le rendement a été encore plus faible. Parmi les difficultés, on note encore que ce type

d'élevage est très sensible aux imperfections de la rotation alimentaire. En effet, les vaches risquent de produire moins de lait, moins riche en matière grasse (après trois avertissements la STIL refuse le lait trop pauvre). En plus, l'effet de la sécheresse comme le cas de l'année 1977, est considéré comme catastrophique. En effet, les éleveurs n'avaient pas la possibilité d'acheter le fourrage « absent ou trop cher ».

L'intervention de l'Etat se résume dans l'amélioration des disponibilités fourragères qui s'est faite en premier lieu à travers un recours à des importations massives d'intrants pour la fabrication d'aliments de bétail dont la vente sur le marché local a été largement subventionnée par la Caisse Générale de Compensation (CGC). Cette politique qui a largement marqué la stratégie de développement agricole des années 70 a nécessité la mobilisation d'importants moyens financiers dont le couvrement s'est élevé en 1980 à 17,1 millions de dinars, soit 25,5% des dépenses générales de la CGC. La mobilisation de ces moyens financiers a permis aux éleveurs de disposer sur le marché d'aliments pour leurs animaux avec des prix de cession largement subventionnés par l'Etat : entre 1973 et 1982, l'intervention de la CGC a permis de couvrir 73 % du prix de cession de l'orge importée aux éleveurs et 88 % de celui du tourteau de soja (RAHMOUNE BAUDU L., 2007).

L'amélioration des disponibilités alimentaires s'est traduite par un accroissement de la production laitière. Les éleveurs ont rencontré de graves difficultés de commercialisation avec l'absence des centres de collecte. En effet, 60 % des fellahs vendent à des intermédiaires à des prix non-encourageants (65 millimes en 1975 et 170 millimes en 1981, BEN ROMDHANE M, 1981 in CHERIF M., 1999). A titre d'exemple, la STIL a acheté en 1976 près de 6 millions de litres, pour une production globale évaluée à 15-20 millions de litres. La création du centre de collecte de Jedeïda en 1970 grâce à une coopération entre la société STIL et la République Fédérale d'Allemagne, et le centre d'El Mansoura en 1979 a légèrement résolu le problème de commercialisation.

Le coût de commercialisation des produits laitiers reste jusqu'au début des années 1980 très élevé, et face à la médiocrité des revenus de ce secteur, plusieurs éleveurs ont préféré « l'élevage en serre ». La conséquence directe de cette nouvelle stratégie était une évolution remarquable des importations des produits laitiers qui constituaient 55 % du total consommé (NOUICER K., 1990).

4.1.2- Restructuration de l'élevage bovin à partir de 1982 et l'émergence d'un « bassin laitier » :

C'est avec la création de plusieurs Sociétés de Mise en Valeur et de Développement Agricole (S.M.V.D.A) depuis 1982 que ce secteur a connu une nette amélioration. En effet, on constate une augmentation du nombre de vaches surtout de race sélectionnée (photo n°24) de 3700 têtes en 1980 à 27100 têtes en 1997 (CHERIF M., 1999) accompagnée d'une « révolution laitière » (tableau. n°13).

Au cours des années 1990, le développement de l'élevage bovin est assuré en grande partie par l'intervention de la Banque Nationale Agricole au moyen de la caisse « FOSDA ». Elle a mis à la disposition des agriculteurs des crédits pour l'achat des vaches laitières de races pures et pour la construction des étables.



Photo n°24 : Les vaches de race sélectionnée dominant, les cheptels du delta de Mejerda :
Le cas de Douar El Maâfrine près de Chaouât.

Le rôle des centres de collecte de lait a été déterminant dans le développement et la commercialisation des produits laitiers. Il s'agit d'une activité induite et récente qui a consolidé d'avantage la dynamique de l'élevage laitier et contribué à l'émergence d'un bassin laitier. Jusqu'en 1985, le delta compte seulement 4 centres, celui de Jedeïda, d'El

Mansoura, de Sidi Thabet et d'El Battan. A partir de 1986, le secteur laitier constitue un intérêt majeur pour l'investissement privé. En 1994, les centres de collecte privés représentent 53.33 % du total. Jusqu'en 1998, le delta compte 36 centres dont 21 appartiennent au secteur privé (CHERIF M., 1999).

Tableau n°13 : L'élevage bovin laitier dans quelques Cellules Territoriales de Vulgarisation (C.T.V) en 1996

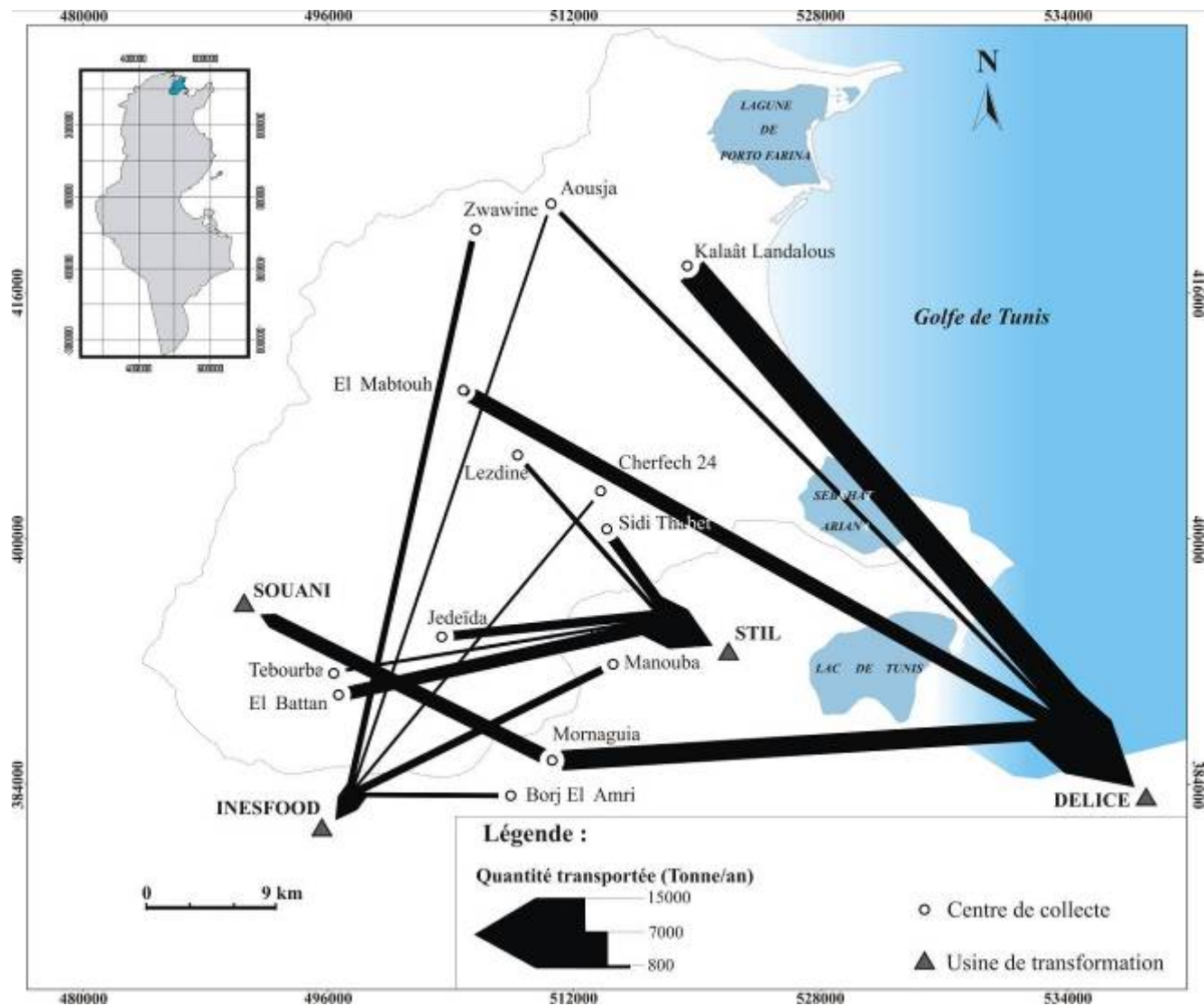
<i>Délégations</i>	<i>Total vaches et génisses pleines</i>	<i>Vaches et génisses sélectionnées</i>	<i>Production laitière (l/an)</i>
Tebourba	3980	2220	10409
Jedeïda	3920	2430	11543
Kalaât Landalous	4230	3720	15244
Sidi Thabet	3440	3260	12992
Ghar El Melh	3600*	-	-

Source : - CRDA de l'Ariana in CHERIF A., 1998

- *Ministère de l'Agriculture 1995.

Dans la partie Nord Est du delta, la société « ESSALAMA » domine sur cette activité. Elle possède un centre de collecte à Aousja, créé en 1993 avec une capacité de 33000 litres/jour. Elle a créé en 1994 deux autres centres dans la zone, celui de Zwawine avec une capacité de l'ordre de 9000 litres /jour, et de Bèjou avec une capacité assez modeste qui s'élève à 7000 litres /jours. Le rôle des unités coopératives qui ont été créés dans le delta (à titre d'exemple « Essada » créée en 1991 à Utique Ejdidia et « Ethamra » à El Mansoura créée en 1994...) reste primordial dans la restructuration de l'élevage bovin, la production et la commercialisation des produits laitiers. « La basse vallée a pu prendre progressivement les dimensions d'un bassin laitier innervé par des flues de production vers les centres de collectes et les usines » (CHERIF A., 1998). L'étude faite par CHERIF M. (1999) a pu démontrer au moins 4 flux reliant les centres de collectes de lait et certains groupes de productions ou usines :

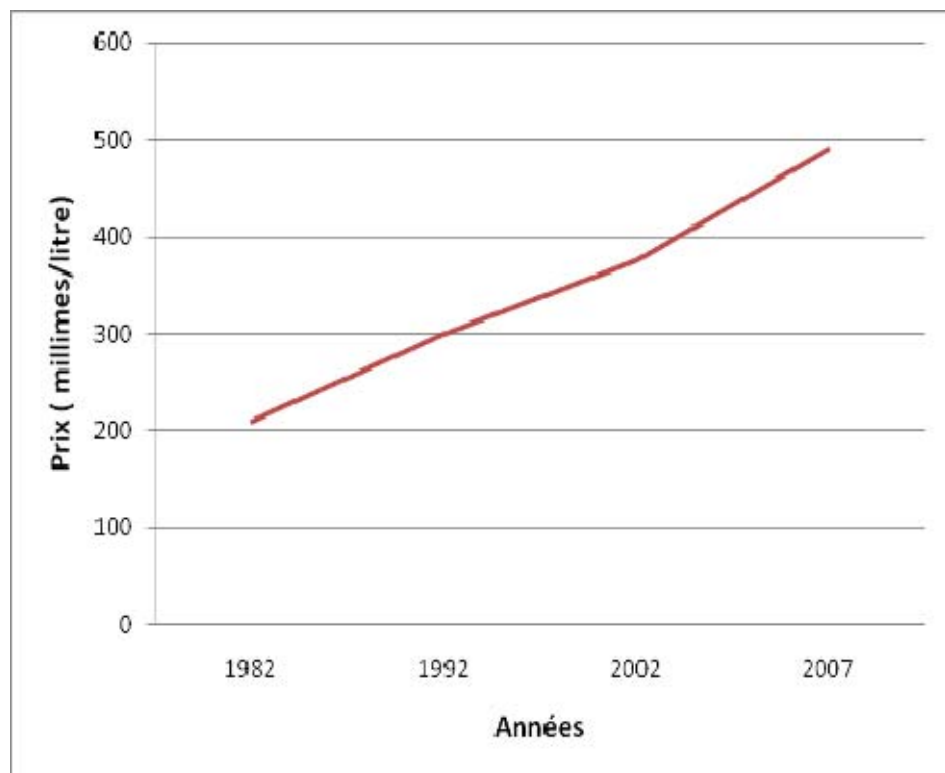
- Un flux de commercialisation reliant les centres de collectes de Jedeïda, de Tebourba, d'El Battan, de Lezdine, de Sidi Thabet et l'usine de transformation « STIL » à Bab Saâdoun (ill. n°90).
- Un flux de commercialisation reliant les centres de collectes de Borj El Amri, de Manouba, de Cherfech 24, de Zwawine et d'Aousja et le groupe de production INESFOOD (ill. n° 90).



ill. n°90 : Les principaux flux laitiers du delta de Mejerda (CHERIF M., 1999 et enquête personnelle 2007).

- Un flux de commercialisation reliant les centres de collectes Kalaât Landalous, d'El Mornaguia, d'El Mabtouh et d'Aousja et l'usine de transformation « DELICE » à Soliman (ill. n°90).
- Un flux de commercialisation reliant la société de collecte « Ben Nejma » à El Mornaguia et la fromagerie « ESSOUANI » à Laroussia.

Malgré la politique suivie par l'Etat pour encourager les éleveurs ; crédits, vaccins, augmentation des prix du lait (ill. n°91), l'élevage laitier reste une activité en difficulté, à cause de la nouveauté de ce domaine et l'ancienneté des techniques acquises avec l'élevage bovin extensif. En plus, les quelques mois d'apprentissage pratique ont été insuffisants ; ce sont les hommes qui ont suivi le stage mais dans la plupart des cas ce sont les femmes qui s'occupent de la conduite du troupeau.



ill. n°91 : Evolution du prix de lait dans le delta de Mejerda
(O.E.P, 1993 et 1997 in CHERIF M., 1999 & enquête personnelle 2007)

Plusieurs études faites dans diverses régions (SETHOM H. (1970) dans la région de Cap Bon, EL AOUNI (1970) dans la région de Tunis, FAKHFAKH (1969) dans la région de Sfax etc...) ont montré que l'élevage à race européenne n'a pas été économiquement rentable en Tunisie. En effet, le coût est aussi élevé que les recettes, et, dans le meilleur des cas, de rentabilité très médiocre. L'effectif moyen a enregistré une diminution remarquable,

soit 7.5 bovins/ éleveur (toutes catégories confondues) en 1996 (CHERIF A., 1998) et 5 bovins/ éleveur en 2007 (enquête personnelle 2007). Ainsi, la majorité des bénéficiaires des lotissements du delta de Mejerda ont consacré beaucoup moins de place que prévu aux cultures fourragères (tableau n°14). En 2007, 11 % de la superficie des périmètres irrigués ont été consacrés à des cultures fourragères (bersim, luzerne, sorgho) tandis que le projet initial a prévu 44 %.

Tableau n°14 : Surfaces occupées par les cultures fourragères dans quelques périmètres irrigués du delta de Mejerda

Périmètre irrigué	Surface occupée par des cultures fourragères (ha)	% des surfaces occupées par les cultures fourragères
Mansoura	100	7.27
Jedeïda	110	7.8
Douar El Bey	40	9.73
Chouigui	60	3.16
Tebourba	30	4.54
Hbibia Sud	105	34.42
Cherfech	133*	32.7 *
Ghar El Melh	50 **	1.83 **
Aousja	23**	1.01 **

Source : - CRDA de Manouba & BICHE, 2006

- * CRDA de l'Ariana 1998.

- ** CRDA de Bizerte 1999.

On constate que les surfaces réservées aux cultures fourragères sont très réduites à Aousja et à Ghar El Melh (tableau n°14). Les éleveurs possèdent des exploitations micro-parcellaires où la priorité est donnée aux cultures maraîchères avec la médiocrité des revenus de l'élevage bovin.

A Hbibia Sud et à Cherfech, on constate que les cultures fourragères occupent près de 1/3 de la superficie totale du périmètre. Ce type de culture est imposé par un cheptel exigeant (le centre d'élevage bovin à Hbibia) dans le premier cas, et par l'étendue des Henchirs (près de 40 ha) dans le second cas.

Plusieurs enquêtés (enquête personnelle 2007), ont affirmé que l'élevage bovin de race locale reste plus rentable. En effet les vaches produisent entre 10 et 15 litres/j et nécessitent moins de dépense, alors que celles de races sélectionnées, produisent entre 25 et 30 litres /j mais avec plus de dépenses.

D'autres ont affirmé que l'engraissement et l'élevage ovin restent plus rentables. Ce dernier représente une activité principale. Il continue à être une source importante de revenus pour la population enquêtée. La composition du troupeau en général diffère beaucoup d'un milieu à un autre. Pour étudier la répartition des cheptels, on a dénombré les têtes en équivalent ovin, c'est-à-dire 5 têtes ovines équivalent une tête bovine en terme d'évaluation de la charge pastorale (utilisation des parcours). Ainsi on a pu calculer un indice pour le delta et grâce à une interpolation linéaire réalisée par le logiciel « Arc View », on a pu dresser des iso-charges pastorales « ovins/bovins » (ill. n°92).

$$I_{\text{ovins/bovins}} = \sum (\text{têtes ovines}) / \sum (\text{têtes bovines}) * 5$$

Si « I » est égale à 1, il y a un équilibre dans la répartition des têtes ovines et celles bovines,

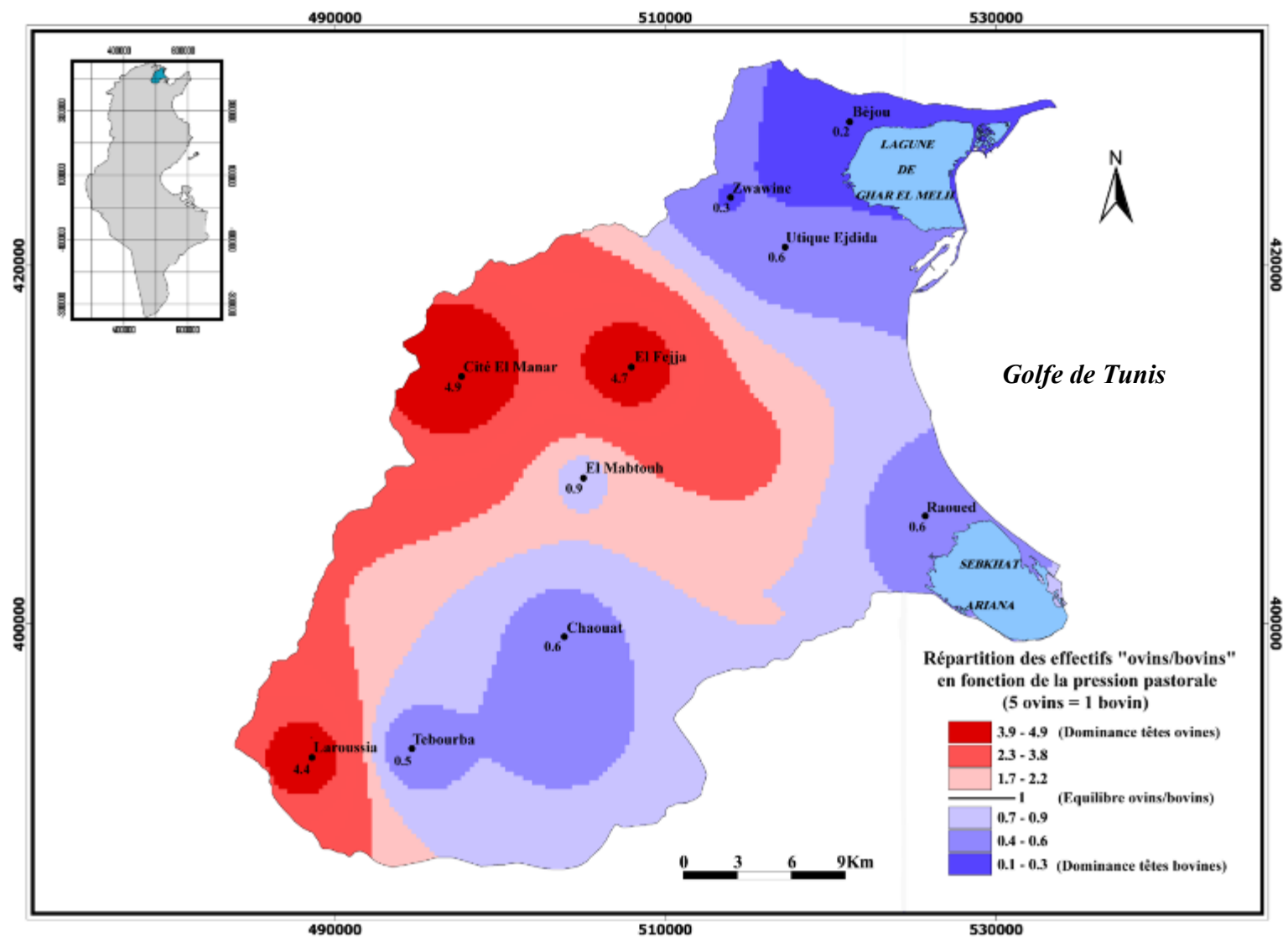
Si « I » est supérieur à 1, il y a une dominance des têtes ovines,

Si « I » est inférieur à 1, il y a une dominance des têtes bovines.

Ainsi, les plaines (à l'exception de garaât El Mabtouha) sont dominées par l'élevage bovin (couleur bleu, ill. n°92) concentré essentiellement dans les anciens périmètres irrigués du delta (exemple Tebourba avec une dominance de 0.5 tête bovine, c'est-à-dire 2.5 têtes ovines/1(*5) tête bovine) et dans les périmètres d'Utique Ejdida, de Zwawine et de Bèjou (dominance encore nette).

Les ovins dominent plutôt les versants de Jebel Menzel Ghoul, de Jebel Douimis et surtout la partie Ouest du delta (versants de Jebel Es-Sakkak, de Jebel El Hallouf, de Jebel El Baouala ...). Le développement de l'élevage ovin est étroitement lié à l'intervention de l'Etat surtout depuis 1986 avec libération des prix de la viande ovine qui est devenue plus rémunératrice (CHERIF M., 1999). Le rôle des sociétés d'élevage est aussi déterminant dans l'accroissement des cheptels, notamment la société « Errahmania » à Chaouât (photo n°25).

L'enquête personnelle a montré que l'effectif moyen, a progressé, soit 45.16 têtes/éleveur (annexe II). L'indice « ovins/bovin » pour le delta, montre une dominance des effectifs ovins soit près de 9 têtes ovines /1 tête bovine.



ill. n°92 : Répartition des effectifs ovins/bovins dans le delta de Mejerda en 2007 (enquête 2007)



Photo n°25 : Les étables de la société de l'élevage ovin et bovin « Errahmania » à Chaouât.

Il faut rappeler que le nouveau mode d'occupation du sol a créé une rupture avec l'élevage traditionnel extensif que ce soit ovin ou bovin. En effet, les jachères sont devenues rares et remplacées par l'irrigation et les arbres fruitiers. Les versants sont plutôt occupés par la nouvelle forêt d'Eucalyptus. Des règlements y limitent la durée des pâturages à 4 ou 5 mois de l'année. Parfois les éleveurs se trouvent obligés d'envoyer leurs troupeaux (ovins) en dehors du delta où ils vont passer l'été et une partie de l'automne (jusqu'à le mois d'octobre) et cela dans le cadre de la pratique de l'« achaba »⁽¹¹⁾. C'est le cas du secteur de Mateur. En effet, cet endroit constitue la première destination de beaucoup d'éleveurs questionnés.

Ces déplacements saisonniers externes ont été pratiqués essentiellement par les grands éleveurs qui ne disposent pas de parcours suffisants pour leurs troupeaux. On constate que 24.65 % seulement des éleveurs enquêtés (la question n°33 - annexe II) pratiquent de

¹¹ : L'achaba est un système de régulation destiné à atténuer les inégalités de la répartition des pâtures, et qui donne la possibilité d'utiliser les pâturages d'autres secteurs (ABDALLAH H., 2007)

l' « achaba », avec une dominance des déplacements saisonniers internes. En effet, la récolte de blé et d'orge (fin juin, début juillet), permet l'utilisation de la totalité des terres comme parcours. Les résidus agricoles constituent la principale source d'alimentation des cheptels (ABDALLAH H., 2007).

Le prix de l' « achaba » varie d'une région à une autre et d'une communauté à une autre. A titre d'exemple un hectare à Garaât El Mabtouha peut être loué pendant l'été à 40 dinars (enquête personnelle 2007). Dans les environs de Jebel Douimis, la famille « Moncef Bey » dispose de près de 150 ha, en 2007 le prix d'un hectare achaba est fixé à 50 dinars. Ces prix sont très influencés par la variabilité interannuelle des pluies qui caractérise le climat du delta. Les prix des fourrages commercialisés (orge, concentré...) restent très élevés. C'est la difficulté essentielle qui caractérise ce type d'élevage.

Afin de répondre aux exigences économiques et assurer un complément vital d'emploi et de revenu, l'aviculture a connu une progression remarquable, surtout à partir de 1986. En effet, suite à la chute vertigineuse de la production (environ 30 %) entre 1982 et 1986 l'Etat a intégré ce secteur dans la nouvelle Politique économique d'Ajustement Structurel (PAS).

L'apiculture est aussi une forme particulière d'élevage pratiqué dans le delta et surtout dans la plaine citée précédemment. Les effectifs traduisent plutôt une forme commerciale. En effet, la délégation de Ghar El Melh compte près de 500 unités d'apicultures, celle d'Utique compte presque 1000 unités d'apicultures (CRDA de Bizerte, 2006).

4.2- La pêche :

La pêche constitue depuis longtemps l'une des activités économiques principales de la région. Le secteur emploie essentiellement des techniques traditionnelles (au moins dans les lagunes) et absorbe une main d'œuvre très importante.

4.2.1- La pêche dans l'ancien port de Porto-Farina: entre essor et déclin.

Aménagé en [1638](#), le vieux port est longtemps le port de la première [base militaire](#) dans le pays (Photo n°26). PERYSONNEL qui a visité la Régence de Tunis au début du XVIII^{ème} siècle a remarqué que " l'entrée du port est étroite et le devient chaque jour davantage parce que la rivière de la Medjerda qui se décharge directement dans son entrée, charrie beaucoup de sable et le comble peu à peu". LOUIS FRANK⁽¹²⁾ a indiqué que "l'embouchure du port a si peu de profondeur qu'il faut incliner les navires de côte pour les y faire entrer" (in KAROUI N., 1973). Il est ensuite abandonné en [1818](#) et une tentative de

¹²: Médecin particulier du Bey Hamouda dont le règne se prolongea de 1814.

rénovation sans succès a été entreprise en [1838](#). Le port est ensuite devenu un important port de pêche dans la région. Il abrite une cinquantaine de petites unités dédiées à la pêche dans la lagune.



Photo n°26 : L'ancien port de Ghar El Melh (<http://slaw.unblog.fr>)

Jusqu'à une date tardive, les habitants du village n'avaient pas le droit de pêcher dans le lac de Porto-Farina, car il a été une propriété privée d'un certain "PISANI" qui a employé des Anglo-Maltais de Ghar El Melh et des pêcheurs de la région de Chebba. Vers la fin du XIX^{ème} siècle, la moyenne annuelle du produit de pêche dans le lac est maintenue à 90000 kg.

"La presque totalité des marins y est composée d'Italiens, de Néo-Français et de quelques Maltais" (BONNIARD F., 1934). L'augmentation de la production en un temps très réduit a provoqué une baisse dans les prix, selon PELLEGRIN J. (in CHERIF A., 1993). En 1890, le prix d'un quintal varie entre 10 et 15 francs. Au début du XX^{ème} siècle la situation n'a guère changé malgré l'amélioration des conditions de commercialisation du poisson grâce à l'utilisation de transport modernes (CHERIF A., 1993).

Le changement de l'embouchure de l'oued Mejerda en 1935 a provoqué un déclin de « l'effet de chasse » et un appauvrissement des eaux de la lagune en nutriments. En plus, l'obturation de la passe a empêché l'eau salée de pénétrer et assurer les migrations de certaines espèces (anguilles, mullets, daurades, etc...), (CHERIF A., 1993). Face à ce déclin de l'activité du port, plusieurs pêcheurs ont choisi de pratiquer de l'agriculture.

Après l'indépendance, plusieurs innovations techniques ont favorisé le développement de la pêche, notamment l'utilisation des moteurs en Diesel et des filets en nylon, le départ des Maltais et la libération de la lagune de Ghar El Melh, la création d'une coopérative des pêcheurs et « l'existence d'une population jeune et disponible pour laquelle la pêche se présente comme le seul débouché », (KAROUI N., 1973).

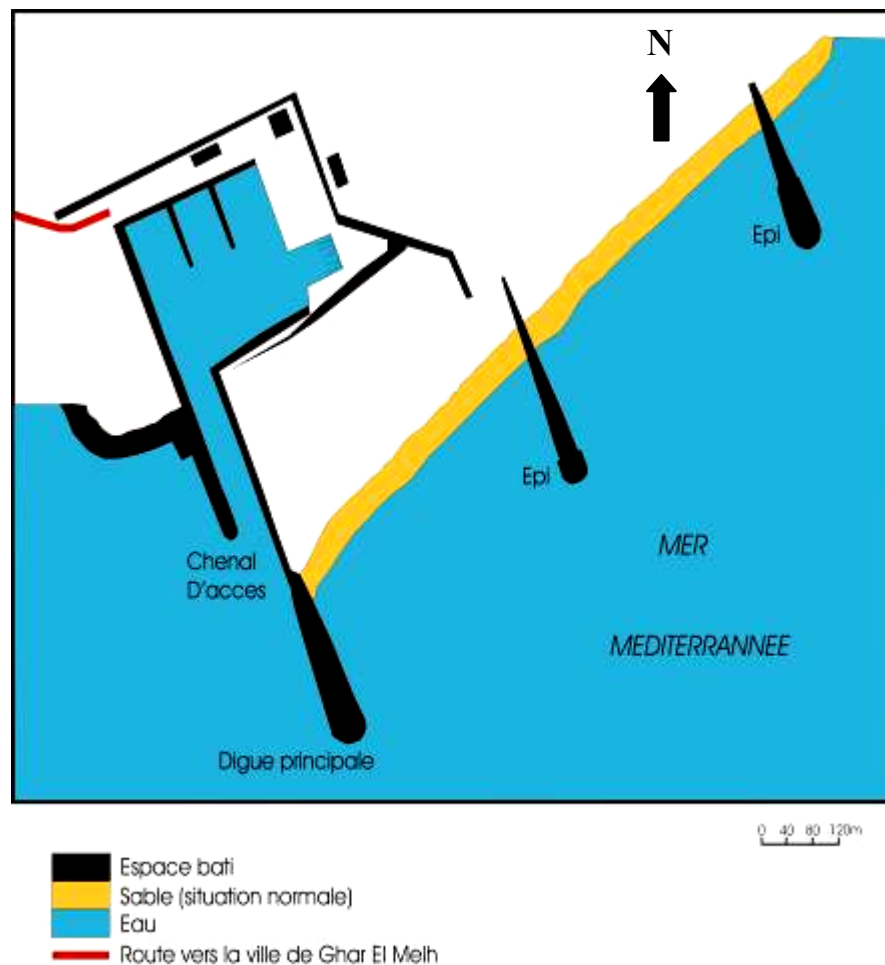
Après les crues de 1973 et le changement de l'embouchure de l'oued Mejerda au Sud Est de la ville de Kalaât Landalous, l'activité halieutique a connu une régression remarquable suite à l'ensablement des passes et la dégradation des éléments nutritifs. Les déchets industriels provenant d'Utique ont provoqué un phénomène d'eutrophisation qui a affecté la faune.

En [1974](#), la construction d'un nouveau port, ouvert directement sur la mer, relègue progressivement le vieux port à une pêche artisanale dans les eaux de la lagune. Cette dernière est classée aujourd'hui comme une zone humide d'importance internationale, vu sa richesse naturelle et sa diversité biologique. Les principales espèces qui y sont pêchées sont par ordre d'importance : les muges, la dorade, le loup, la sole et l'anguille.

4.2.2- Le nouveau port de Ghar El Melh :

Il se situe dans la partie nord du golfe de Tunis et s'étend sur 11.5 ha. Il est formé essentiellement par une digue principale de 530 m, une digue secondaire de 300 m, un plan d'eau de 3.5 ha, un chenal d'accès de 200 m, et un quai de débarquement de 75 m (ill. n°93). La superstructure comprend plusieurs service de base : des bâtiments et locaux pour le CRDA, l'OMMP, et les pêcheurs, des installations frigorifiques avec une capacité de stockage qui atteint 70 T/j (STUDI, 2007).

Le nouveau port abrite environ 200 unités de pêche en 2007 (STUDI, 2007), (contre 146 unités en 1993, CHERIF A, 1993). Elles sont consacrées à la pêche côtière ainsi qu'à la pêche au feu et à la petite [senne](#).



ill. n°93 : Plan du port de pêche de Ghar El Melh.

A partir de 1974, la production s'est caractérisée par une progression irrégulière et très inégale selon les types de pêche. En effet, la production de la lagune est restée presque stable. On a enregistré un accroissement de 28 % entre la période 1973-1975 et 1988-1990 et cela en fonction du développement des moyens utilisés. Les causes majeures de cette instabilité sont essentiellement la surexploitation et les perturbations de la communication lagune-mer (CHERIF A., 1993).

Construit principalement pour le mode "pêche côtière", le site du nouveau port a su progressivement diversifié son activité pour atteindre une production appréciable de 1400 tonnes au cours des cinq dernières années où la part relative au mode pêche au poisson bleu a atteint $\frac{3}{4}$ de la production totale contre la moitié au cours de la décennie 1991 – 2000. La croissance accrue des rendements au cours de la période 1984 – 1992, suivie par leur baisse régulière au cours de la période 1993 – 2001, confirme le constat que les ressources des

zones traditionnelles d'activité pour la pêche côtière sont en situation de surexploitation (STUDI, 2007). De même, le site du port a subi un comblement progressif. Cette situation exige un dragage périodique et nécessite la construction de digues de protection reliées au rivage et visibles de la plage limitrophe du port

Le mode pêche au poisson bleu et en dépit du site classé "pêche côtière", a été progressivement introduit à Ghar El Melh. Le nombre moyen de sardiniers au cours des trois dernières années a atteint un effectif de 16 unités pour un rendement moyen de 60 tonnes par embarcation (STUDI, 2007).

4.2.3- Le port de Kalaât Landalous :

Construit en 1995, le port de Kalaât Landalous est situé à l'intérieur d'une anse naturelle. Il est protégé contre les houles du large par la flèche sableuse (photo n° 27). Il est formé essentiellement par une digue d'accès de longueur de 430 m, quatre appontements de longueur de 45 m chacun, et un terre plein de 1.2 ha. La superstructure comprend essentiellement un marché de gros d'une superficie de 600 m², un bâtiment pour la CRDA, des locaux pour les pêcheurs (photo n°28) de superficie de 200 m² et des installations frigorifiques avec une capacité de stockage qui atteint 10 T/j (STUDI, 2007).

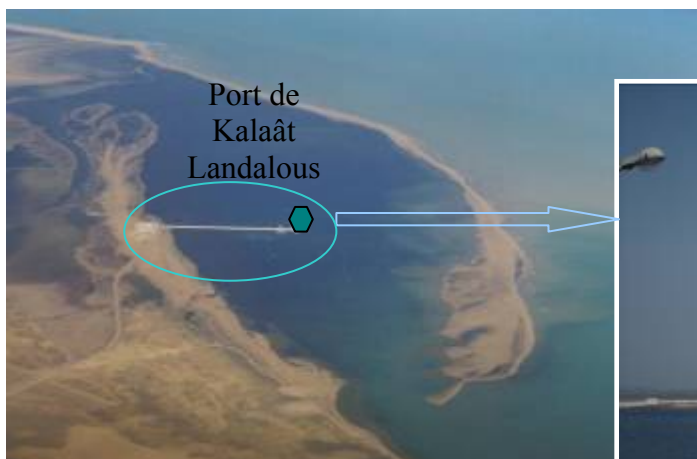


Photo n°27 : Vue aérienne du site abri du port de pêche de Kalaât Landalous.



Photo n°28 : Digue principale d'accès au port de Kalaât Landalous.

La pêche ne représente plus une activité artisanale pour ce port comme pour les ports avoisinants (notamment Ghar El Melh, Bizerte, Cap Zebib et la Goulette)... La structure de

la flottille est caractérisée par l'accroissement des unités motorisées. En effet, en 2007 le port comprend 80 barques dont 48 sont motorisées et 32 non motorisées.

Sur le plan de la production, la capture moyenne au cours des cinq dernières années est de 150 tonnes dont une partie, vient de la lagune elle-même (lagune de Foug El Oued). Certes, le problème d'avancée de la flèche a notablement réduit l'activité de pêche côtière. En revanche, cela a permis le développement progressif de la pêche dans la lagune, notamment à partir de 1996, caractérisée par la capture d'espèces à haute valeur ajoutée (particulièrement la crevette royale) dans le cadre d'un mode de pêche où les charges d'exploitation sont nettement faibles en comparaison avec mode classique de pêche côtière.

Les situations de crise et l'irrégularité de production dans le secteur de pêche, sont les causes majeures du changement "provisoire" de métier ou de profession. L'enquête socio-économique réalisée par Abdallah CHERIF en 1993 a montré que presque 18 % des patrons-pêcheurs à Ghar El Melh ont changé de métier pour l'agriculture. Cette dernière, constitue un moyen de régulation de l'équilibre financier pour de nombreuses familles.

5- L'écoulement et le stockage de la production :

5.1- L'écoulement de la production :

Les exploitants du delta cherchent toujours à écouler au moins une partie de leurs produits sur le marché que ce soit par la vente aux « souks », grâce au rôle intermédiaire des « Khadhara » ou encore les écoulements vers les offices et les usines.

- ***Vente aux souks*** : La localisation géographique du delta donne la possibilité de fréquenter une dizaine de marchés dans un rayon inférieur à 60 km.

Mjez El Bab, Mateur, Bizerte, Menzel Bourguiba et bien sûr Tebourba, Jedeïda, Aousja, Kalaât Landalous...ont, une fois par semaine, un souk que les agriculteurs fréquentent plus ou moins assidument. Cette possibilité de choix leur permet d'éviter les revendeurs qui contrôlent les marchés de Tunis où porter tous les jours leurs produits au marché de gros (87.5 % des produits maraîchers d'enquêtés, annexe II). De fait les agriculteurs qui le peuvent, choisissent leur marché en fonction des prix qui varient souvent sensiblement de l'un à l'autre. Ils s'informent tous les jours sur les prix des différents marchés et ces prix varient aussi d'un jour à l'autre.

Le problème qui se pose pour ce type de vente et celui du moyen de transport. En effet, plusieurs exploitants ne possèdent pas leur propre moyen de transport, ce qui contribue à affaiblir les revenus par la vente sur les marchés.

- **La « khadhara » ou vente sur pied** : C'est un moyen d'éviter le problème de transport cité précédemment. La vente sur pied est recherchée par les producteurs du delta de Mejerda. Le premier avantage c'est d'avoir l'argent avant même la récolte. De plus, l'entretien, la récolte, la vente et le gardiennage sont à la charge de khadhar.
- **Écoulement vers les offices et les usines** : certains produits comme la tomate peut être écoulée vers les usines de Béjaoua ou de Mjez El Bab, le lait est vendu à la S.T.I.L. D'autres, essentiellement ; l'huile d'olive et les céréales doivent obligatoirement être vendus respectivement à l'Office de l'Huile et à celui des Céréales (53.58 % des produits céréaliers sont vendus pour les centres de collectes et de stockages dans le delta appartenant à l'Office des Céréales, annexe II). Le problème pour ceux qui adoptent ces circuits est que le prix est fixé officiellement chaque année par les pouvoirs publics. De plus, ces circuits ne sont pas toujours les plus faciles ni les plus avantageux. A titre d'exemple, pour le lait, la STIL exige un certain taux butirique, vérifie la propreté et la pureté du lait et parfois renvoie des récipients pleins à leurs producteurs.

5.2- Le stockage de la production :

Une grande partie de la production fruitières, soit 30.68 % (enquête personnelle 2007, annexe II) ne se vend pas directement sur le marché. Elle sera stockée dans des installations frigorifiques. « L'entreposage frigorifique s'est étendu depuis le début des années 1980, aux foyers de production fruitières de la Tunisie du Nord-Est » (CHERIF A., 1998). Lors de l'enquête socio-économique 2007, on a pu dénombrer plus de 20 installations frigorifiques dans le delta de Mejerda. Elles se concentrent essentiellement en amont du delta ; dans les secteurs de Tebourba, d'El Battan, de Oued Ellil et surtout de Jedeïda.

Avec des diverses capacités de stockage, les entrepôts frigorifiques appartiennent à de gros producteurs de fruits, aux banques et aux commerçants, dont les mandataires du Marché d'Intérêt National (MIN) de Bir El Kassaâ...etc (tableau n°15).

Les tarifs moyens d'entreposage pratiqués sont évalués à 1 millime/jour/kg en 1995 (CHERIF A., 1995) à 1.33 millimes/jour/kg en 2007 (enquête personnelle 2007). Ainsi, l'investissement dans les installations frigorifiques constitue une opération rentable. « Un entrepôt de taille moyenne, soit 200 tonnes, rapporte en conséquence un revenu brut de 6000 dinars/mois si toute sa capacité de stockage est utilisée » (CHERIF A., 1995).

Tableau n°15 : Situation juridique et structure des entrepôts frigorifiques de la basse vallée jusqu'à 1995.

Situation juridique	Nombre d'entrepôts	Nombre de chambres	Capacité de stockage (en tonnes)
Privés (commerçants, agriculteurs...)	20	83	4138
Sociétés agro-alimentaires	2	14	500
Société de mise en valeur	1	2	80
Etat	2	18	1200
Total	25	117	5918

Source : CHERIF A., 1995.

Chapitre 3 :

**EVOLUTION DES ZONES
D'HABITAT ET DES PRINCIPALES ACTIVITES
NON AGRICOLES DANS LE DELTA DE MEJERDA**

1- Aperçu historique sur l'installation humaine dans le delta et difficulté de délimiter l'espace "périurbain" :

1.1- Aperçu historique sur l'installation humaine dans le delta :

Actuellement, le delta de Mejerda est l'une des zones les plus peuplées et les plus densément occupées en Tunisie. Il constitue un couloir de transition qui subit sans doute l'influence des deux villes avoisinantes ; le Grand Tunis au Sud et la ville de Bizerte au Nord. L'installation humaine dans la zone est relativement ancienne. La fondation d'Utique comme premier pôle commercial sur la rive sud méditerranéenne par les Phéniciens, a beaucoup influencé l'évolution de l'occupation du sol du delta (déjà en phase de genèse).

Les différents sites archéologiques du delta, constituent « les témoins d'une vie urbaine active dans l'Antiquité » (CHERIF A., 1995). La période médiévale, caractérisée par l'insécurité n'a pas beaucoup favorisé la renaissance de la vie urbaine, surtout dans la partie orientale. En effet, ce secteur présente encore des signes d'hydromorphie. Au début du XVII^{ème} siècle, les immigrés andalous installés sur des sites antiques, ont beaucoup marqué le paysage et contribué à la croissance à la fois démographique et spatiale, introduisant de nouvelles coutumes et de nouveaux modes de vie urbaine. Par ailleurs, au XIX^{ème} siècle, ces immigrés ont assimilé d'autres groupes ethniques : Turcs puis Maltais à Ghar El Melh (BONNIARD F, 1934), Zouaouas, Ouesslatias et Sahéliens à Tebourba (CHERIF A., 1993). Ceci a favorisé une renaissance assez remarquable de la vie urbaine.

Le recul de la mortalité, l'exode rural vers les grandes villes, sont des caractères qui marquent la période coloniale. Ils se conjuguent avec la généralisation de l'automobile ce qui a éclaté la ville traditionnelle de ses remparts favorisant ainsi, une extension spatiale multi-directionnelle...

Après l'indépendance, une infrastructure hydraulique lourde a été mise en place pour la mise en valeur des terres. Cette construction a transformé les petites villes en centres d'appui techniques et administratifs (CHERIF A., 1995). La diversification de leurs activités a joué un rôle déterminant dans l'organisation de l'espace et a constitué un facteur d'attraction de la population. L'évolution du poids de l'industrie avec l'apparition des unités industrielles agro-alimentaires a permis une augmentation des postes de travail ce qui a limité l'exode rural vers Tunis.

Dans ce chapitre, notre objectif est d'étudier et suivre l'extension spatiale du bâti, de déterminer les tendances et les caractéristiques, ainsi que les conséquences sur l'environnement. Il s'agit aussi d'examiner les facteurs essentiels qui ont favorisé cette extension spatiale tout en mettant l'accent sur l'influence des métropoles avoisinantes.

1.2- Difficulté de délimiter l'espace "périurbain" :

Le delta est une zone essentiellement agricole ; il constitue une part importante de l'essentiel du potentiel agricole (EPA) de la Tunisie du Nord. Il a connu depuis les années 1980 une croissance rapide de la population, de l'emprise urbaine, du trafic routier et des activités industrielles. De ce fait, le delta a fait un passage progressif d'une zone, fondée principalement sur l'agriculture, à une zone multifonctionnelle. Les espaces constructibles sont devenus de plus en plus restreints et l'extension urbaine parfois non contrôlée et non maîtrisée s'est étendue au dépend des terres cultivables et a gaspillé le foncier agricole.

L'analyse de la dynamique de l'environnement est inséparable de l'observation de la croissance urbaine ; l'impact de cette dernière sur l'environnement (végétation, sol, hydrographie) est une grande préoccupation pour les décideurs. Aujourd'hui, avec l'essor des méthodes d'analyses comme les systèmes d'informations géographiques (SIG), et les avantages de la télédétection aéroportée et spatiale on estime avoir des résultats appréciables, approfondir les études classiques et faire une cartographie numérique détaillée de cette zone jugée très sensible et à haut risque. Elle est caractérisée par :

- Une périurbanisation intense qui transforme le paysage naturel et les terres cultivables du delta (habitats, zones industrielles, infrastructures routières, gaz, électricité ...).
- Des aménagements et interventions parfois inadéquats au sein des zones à risque d'inondation et de stagnation d'eau (Garâa).

La difficulté de distinguer l'espace rural et l'espace urbain constitue un axe de réflexion indispensable dans ce travail. En effet, il y a une difficulté de délimiter l'espace "périurbain". Les thèmes sont multiples tels que ; ville, campagne, "périurbain", banlieue, rural profond, arrière-pays... La zone "périurbaine" n'est ni la ville, ni la campagne. La « périurbanisation est l'extension progressive de la ville et des activités non agricoles dans le milieu rural » (GANZALEZ M., 2001).

2- Une extension spatiale du bâti assez remarquable :

L'examen des différentes sources cartographiques de données nous a permis de suivre et de quantifier l'extension spatiale du bâti depuis 1950 (ill. n°94). En effet, on remarque une évolution annuelle remarquable de l'espace bâti, de l'ordre de 7.16 % entre 1950 et 2007 pour les différentes agglomérations du delta. Si l'on rajoute l'habitat dispersé, cette évolution est de l'ordre de 27 % pour la même période (1950-2007).

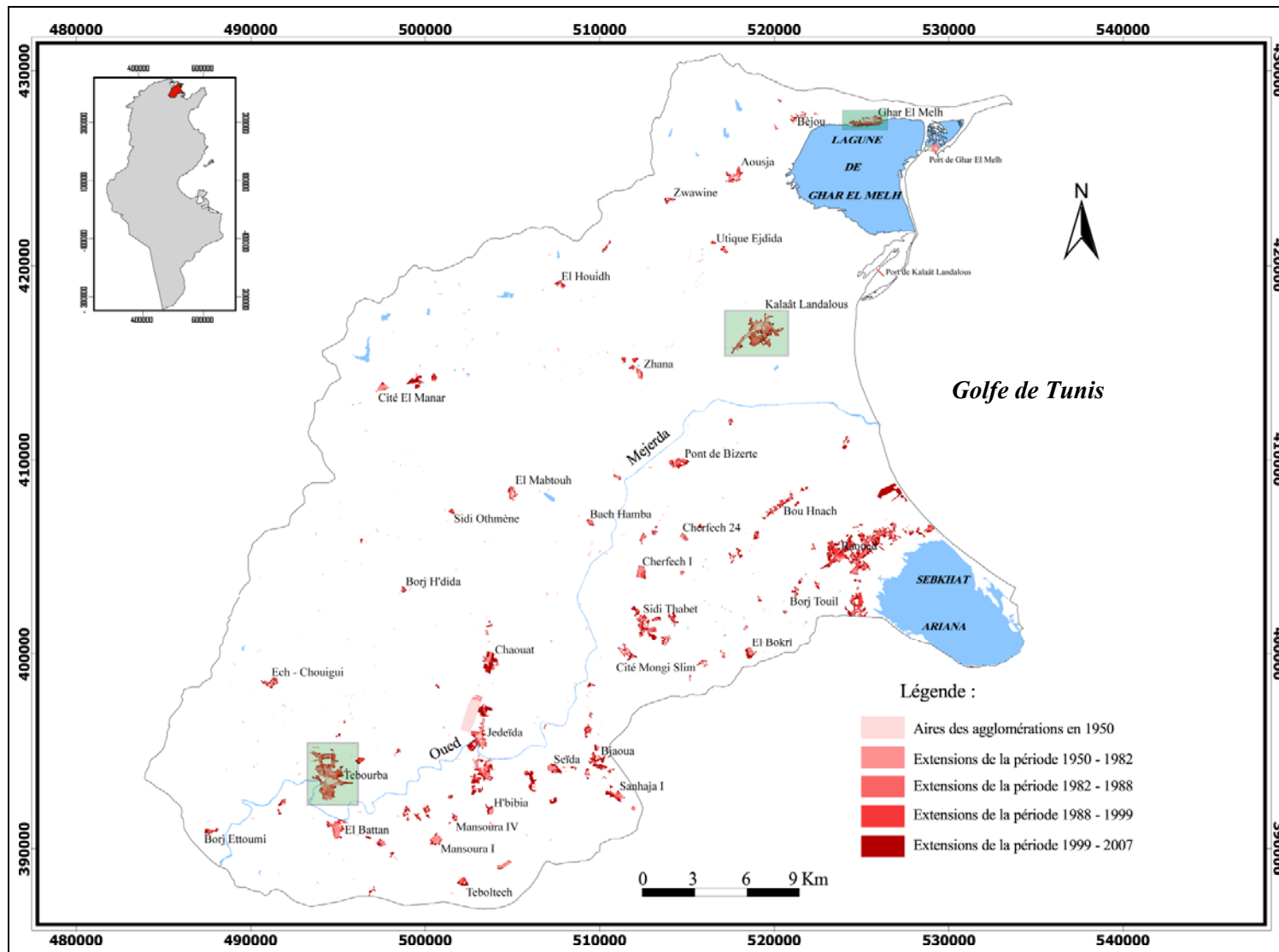
Depuis 1950, on a pu caractériser des rythmes différents pour cette urbanisation. L'accroissement moyen annuel des espaces bâtis est de l'ordre de 8.7 % pour la période 1950-1982, de l'ordre de 6.2 % pour la période 1982-1988, de l'ordre de 4.9 % pour la période 1988-1999 et de l'ordre de 11.4 % pour la période 1999-2007. Cela montre une variation dans le rythme de l'extension spatiale des agglomérations du delta. Cette variation peut être expliquée par l'inégalité des périodes choisies, ainsi que par plusieurs autres facteurs qui seront analysés par la suite.

L'identification et le suivi de l'espace urbain et périurbain pose d'emblée des questions relatives aux échelles spatio-temporelles utilisées. L'illustration n°94 constitue un essentiel document pour caractériser l'extension spatiale du bâti entre 1950 et 2007, l'échelle choisie montre une certaine ambiguïté.

A quelles échelles les extensions urbaines sont-elles perceptibles ? Quelles sont les échelles d'observation disponibles? et/ou souhaitables? Comment peut-on passer d'une échelle à une autre ?

En plus des interrogations liées aux échelles spatiales, la détermination des dynamiques de l'occupation et de l'utilisation des sols soulève le problème de la prise en compte de la dimension "temporelle" dans les processus d'observation et de suivi. Il s'agit en particulier de déterminer si les systèmes territoriaux étudiés sont en phase de stabilité ou d'instabilité sur une période donnée, c'est-à-dire repérer des constantes, mais aussi des ruptures ou des discontinuités.

Afin de résoudre la question de l'échelle d'observation souhaitable, on a sélectionné trois types d'agglomérations (Ghar El Melh, Kalaât Landalous et Tebourba) qui correspondent respectivement aux gouvernorats de Bizerte, Ariana et Manouba). L'échelle de la petite ville montre beaucoup de détails, et caractérise le mieux les tendances de l'urbanisation dans le delta de Mejerda.



ill. n°94: Extension spatiale des différentes agglomérations du delta entre 1950 et 2007
 (Cartes topographiques au 1/50000 et au 1/25000 ; images Spot/XS de 1988 et de 1999, ISIS-CNES ; Extraits Google Earth 2007©)

Il reste encore à préciser les critères qui seront adoptés pour désigner des villes. Le débat sur cette question est assez compliqué. La désignation (ville, village...etc.) est basée sur des critères à la fois démographique, fonctionnel... Tout de même, il faut signaler que la ville en tant qu'entité territoriale avec des limites définies n'a pas encore d'existence formelle, on a coutume de confondre population communale et population urbaine (SIDES & MEH, 1997).

Jusqu'à les années 1950, aucune localité du delta de Mejerda n'a atteint 2000 habitants, critère essentiel de la commune en Tunisie. Depuis 1975, plusieurs agglomération sont dépassé le seuil de 2000 habitants (Ghar El Melh, Kalaât Landalous, Sidi Thabet, Jedeïda et Tebourba). VALENSI L. (1977) a démarqué au moins une ville (Tebourba) par combinaison du critère démographique et du critère fonctionnel des agglomérations (in CHERIF A., 1995). Pour GANIAGE J. (1959) « les chefs-lieux, y compris Tebourba n'étaient que de gros villages» (in CHERIF A., 1995).

Dans ce chapitre, on essayera de démontrer les tendances de l'extension spatiale à travers trois « petites villes », les facteurs, ainsi que les conséquences de cette urbanisation.

2.1- Trois types pour mieux caractériser les tendances :

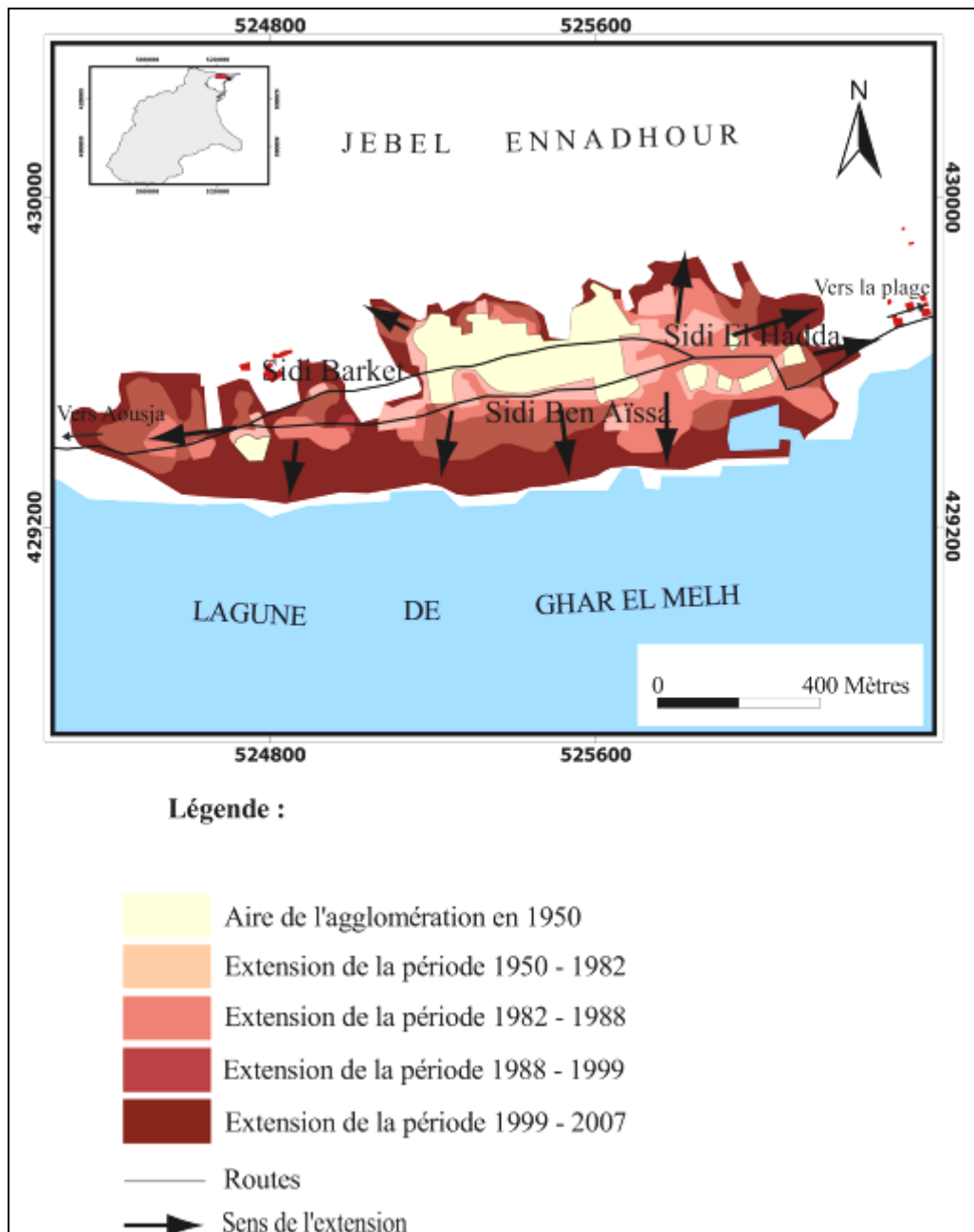
2.1.1- Le cas de la ville de Ghar El Melh :

De Porto-Farina à Ghar El Melh, cette localité a connu beaucoup de changements au niveau socio-économique. Cette agglomération reste mal connue, alors que son histoire depuis sa fondation jusqu'à la période contemporaine, est d'une grande importance.

Le suivi de l'extension spatiale de Ghar El Melh entre 1950 et 2007 à travers la carte de synthèse (ill. n°95), nous a permis de retenir deux critères :

- Une évolution assez importante du bâti à l'Est de l'ancien noyau jusqu'en 1988, avec un taux d'accroissement de l'ordre de 3.47 % entre 1950 et 1988.
- Une urbanisation des secteurs sud, ouest et accroissement est entre 1988 et 2007. Cette extension s'est effectuée avec un taux d'accroissement de l'ordre de 10 %.

Généralement on peut remarquer que l'extension spatiale de la ville de Ghar El Melh s'est faite essentiellement dans un couloir de transition entre Jebel Ennadhour au Nord et la lagune au Sud.

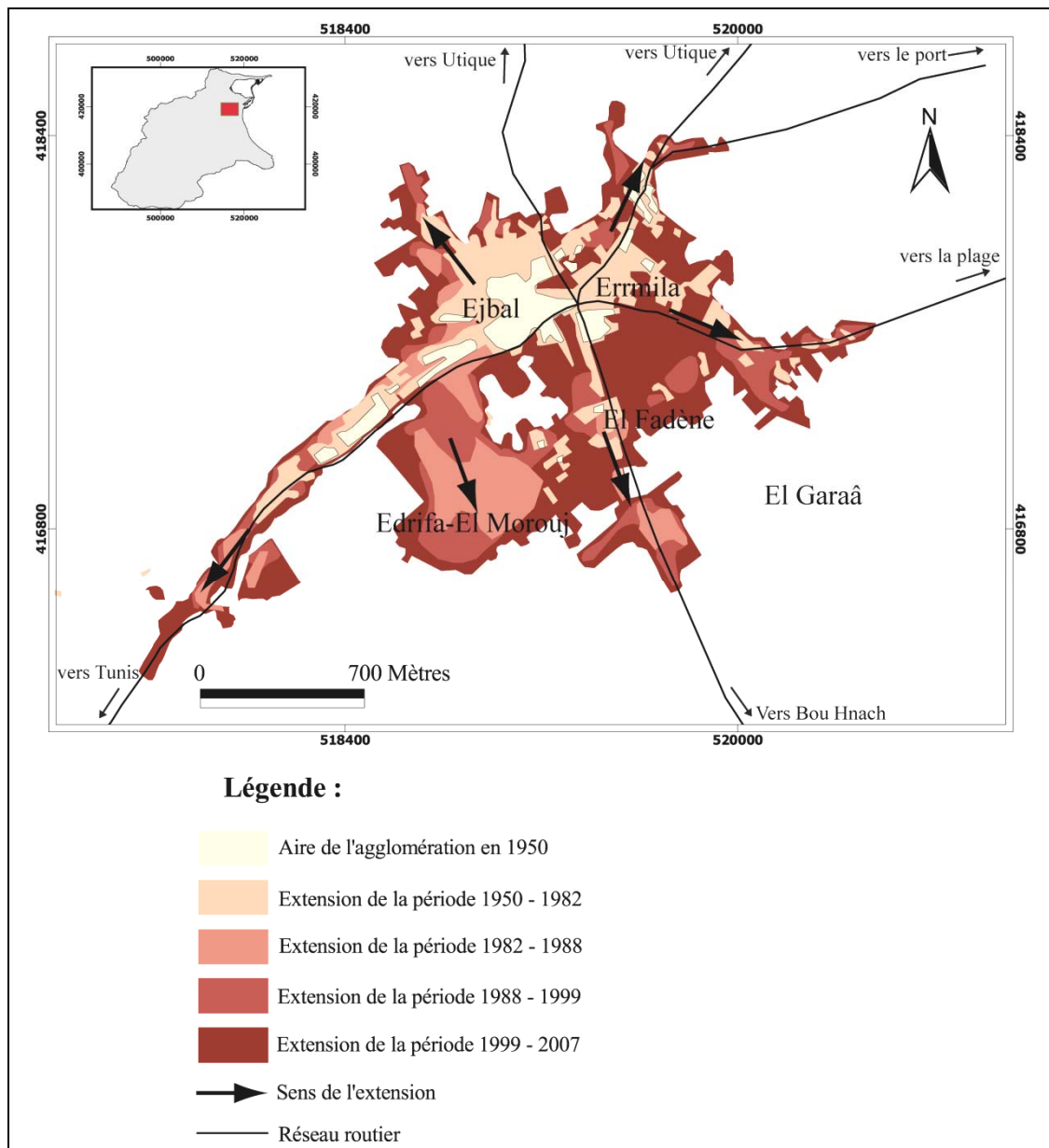


ill. n°95: Les caractéristiques de l'extension spatiale de la ville de Ghar El Melh entre 1950 et 2007 (Cartes topographiques au 1/50000 et au 1/25000 ; images Spot/XS de 1988 et de 1999, ISIS-CNES ; Extraits Google Earth 2007©)

2.1.2- Le cas de la ville de Kalaât Landalous :

Le premier noyau a été implanté sur une colline de quelques dizaines de mètres de hauteur (localement appelé « Ejbâl »). « Le bâti n'a cessé de s'étendre, mais il est resté, jusqu'à une date relativement récente limité à la colline » (OUESLATI A., 1999). Jusqu'à 1982, l'extension du bâti, est limitée à un couloir de direction Nord-Est, Sud-Ouest (ill. n°96).

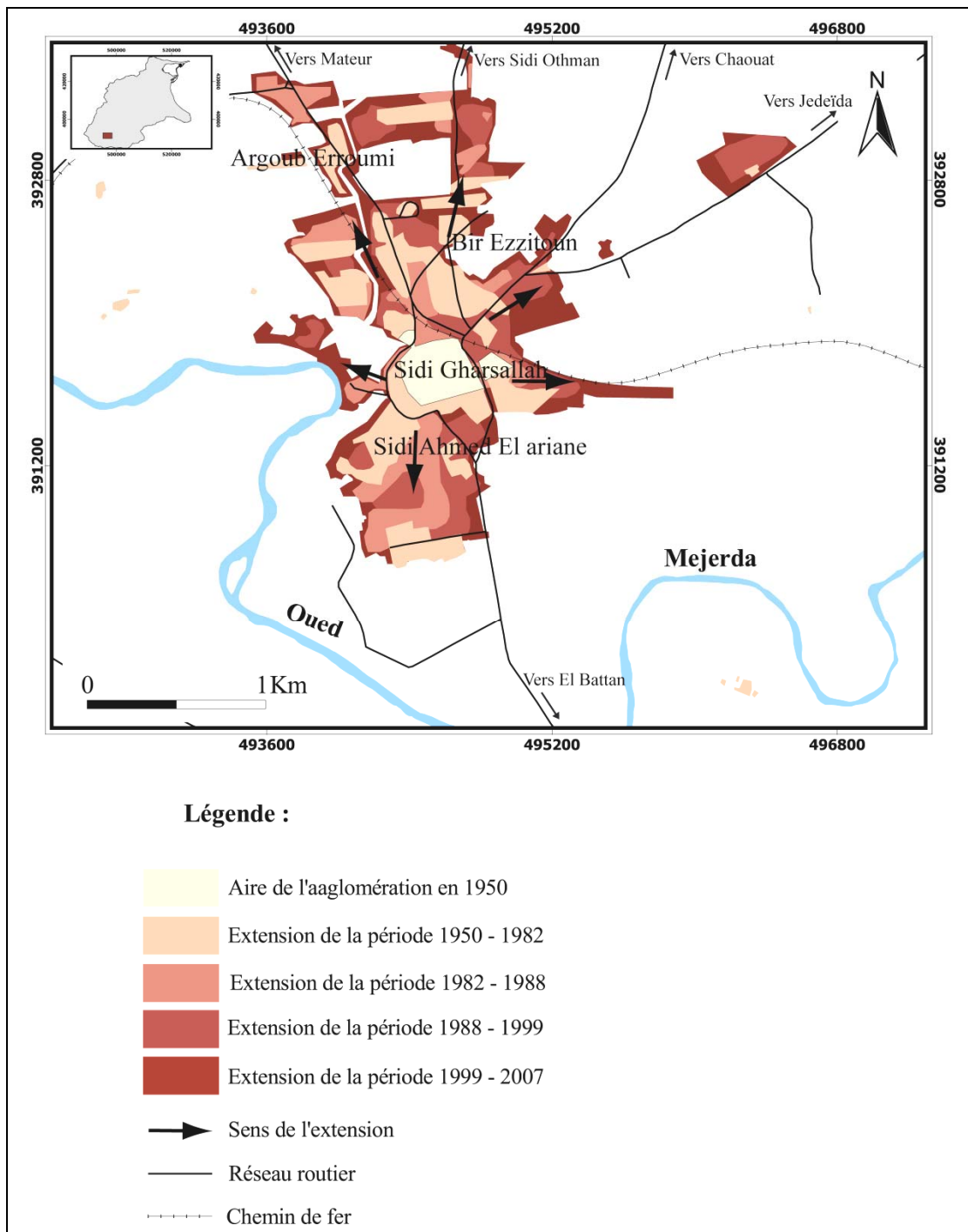
Depuis 1982, l'extension de la ville n'a cessé de s'étendre vers le Sud, le Sud-Est et l'Est de l'ancien noyau. La ville de Kalaât Landalous représente un carrefour qui relie plusieurs secteurs et l'urbanité semble être guidée par les routes (ill. n° 96).



ill. n°96: Les caractéristiques de l'extension spatiale de la ville de Kalaât Landalous entre 1950 et 2007 (Cartes topographiques aux 1/50000 et aux 1/25000 ; images Spot/XS de 1988 et de 1999, ISIS-CNES ; Extraits Google Earth 2007©)

2.1.3. Le cas de la ville de Tebourba :

L'ancien noyau de la ville a été implanté sur la colline de Sidi Gharsallah. L'extension spatiale de la ville s'est faite essentiellement vers le Nord (Bir Ezzitoun), vers le Nord Ouest (Argoub Erroumi) et vers le Sud (Sidi Ahmed El Ariane). Côté Est, l'extension du bâti semble bloquée par l'oued Mejerda (ill. n°97).



ill. n°97 : Les caractéristiques de l'extension spatiale de la ville de Tebourba entre 1950 et 2007 (Cartes topographiques au 1/50000 et au 1/25000 ; images Spot/XS de 1988 et de 1999, ISIS-CNES ; Extraits Google Earth 2007©).

L'évolution de la ville s'est faite aux dépens des terres cultivables, des oliveraies et dans les collines au Nord Ouest de la ville. Elle constitue 10%, soit 249.68% de l'espace bâti du delta en 2007. Quels sont les principaux facteurs qui ont déclenché et accentué le phénomène d'urbanisation ?

2.1.4- Apport de la télédétection et des SIG à la cartographie de l'évolution des espaces urbains et "périurbains" :

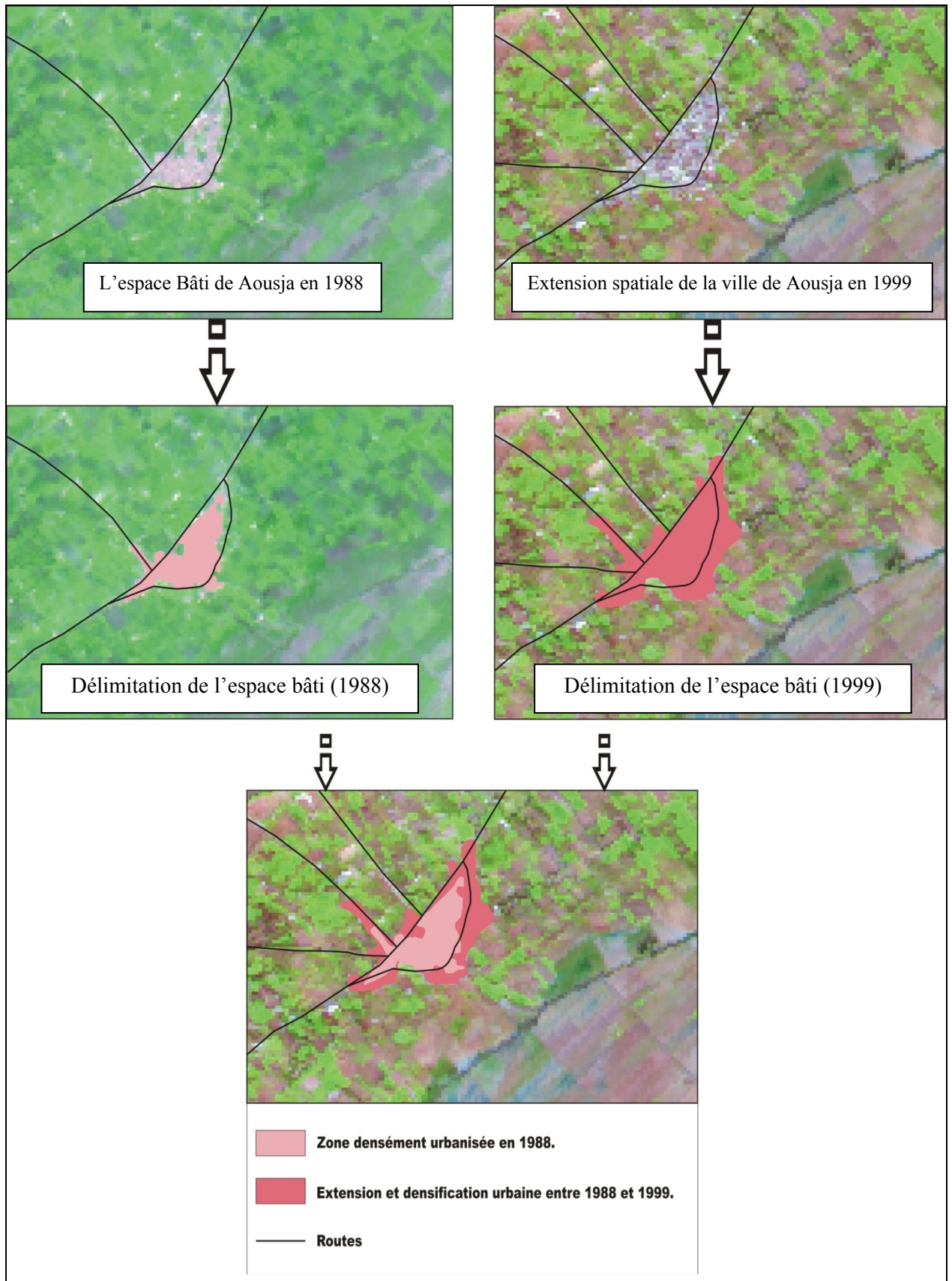
Le développement de la télédétection satellitaire et des différents outils informatiques, offre une aide incontournable pour l'étude des espaces urbains à évolution rapide. L'harmonisation, le traitement et l'intégration des données à différentes dates et échelles dans un système d'information géographique facilitent la cartographie et le suivi de la dynamique urbaine et périurbaine

La réalisation d'une cartographie thématique de base couvrant l'ensemble de la ville offre finalement cette vision globale du fait urbain. Cette démarche s'avère impossible avec les données traditionnelles lorsqu'elles existent. L'intérêt de l'approche thématique était d'identifier et d'analyser l'état des lieux et des transformations spatiales en relation avec la croissance urbaine de quelques villes. Cependant l'approche méthodologique vise à développer une analyse qui facilite l'utilisation de la télédétection dans des études de suivi des milieux urbains.

L'évaluation de la qualité des classifications supervisées d'images Spot 1988 et 1999 (tableaux n°4 et n°5, 3^{ème} chapitre, 1^{ère} partie) met en évidence des confusions majeures entre la classe « bâti et autres constructions » et les classes « sol inculte » et « sol humide ». De plus, on remarque (visuellement) une confusion entre l'espace bâti et le sable, celle-ci est le résultat d'une ressemblance dans les valeurs radiométriques des pixels de chaque thème. En effet, les allures des signatures spectrales de l'espace bâti et des minéraux en général sont toujours très rapprochées en terme de réflectance.

L'homogénéité de certains espaces rendant quasi impossible une approche spectrale, nous a conduits à nous intéresser à un simple croisement de l'image d'avril 1988 avec celle de décembre 1999. Le résultat de cette photo-interprétation, montre une vaste extension auréolaire autour de chaque agglomération (exemple : l'agglomération urbaine de Aousja , ill. n°98).

Il est a signalé l'importance de « *la morphologie mathématique* » dans l'étude des édifices notamment historiques. Cependant, cet outil à une capacité à traiter chaque pixel de l'image en fonction d'un voisinage prédéfini et à éliminer l'influence prépondérante de la topographie sur la réponse spectrale.



ill. n°98 : Méthodologie pour l'étude de la dynamique urbaine de la ville de Aousja entre 1988 et 1999. (images Spot/XS 1988 et 1999, ISIS- CNES).

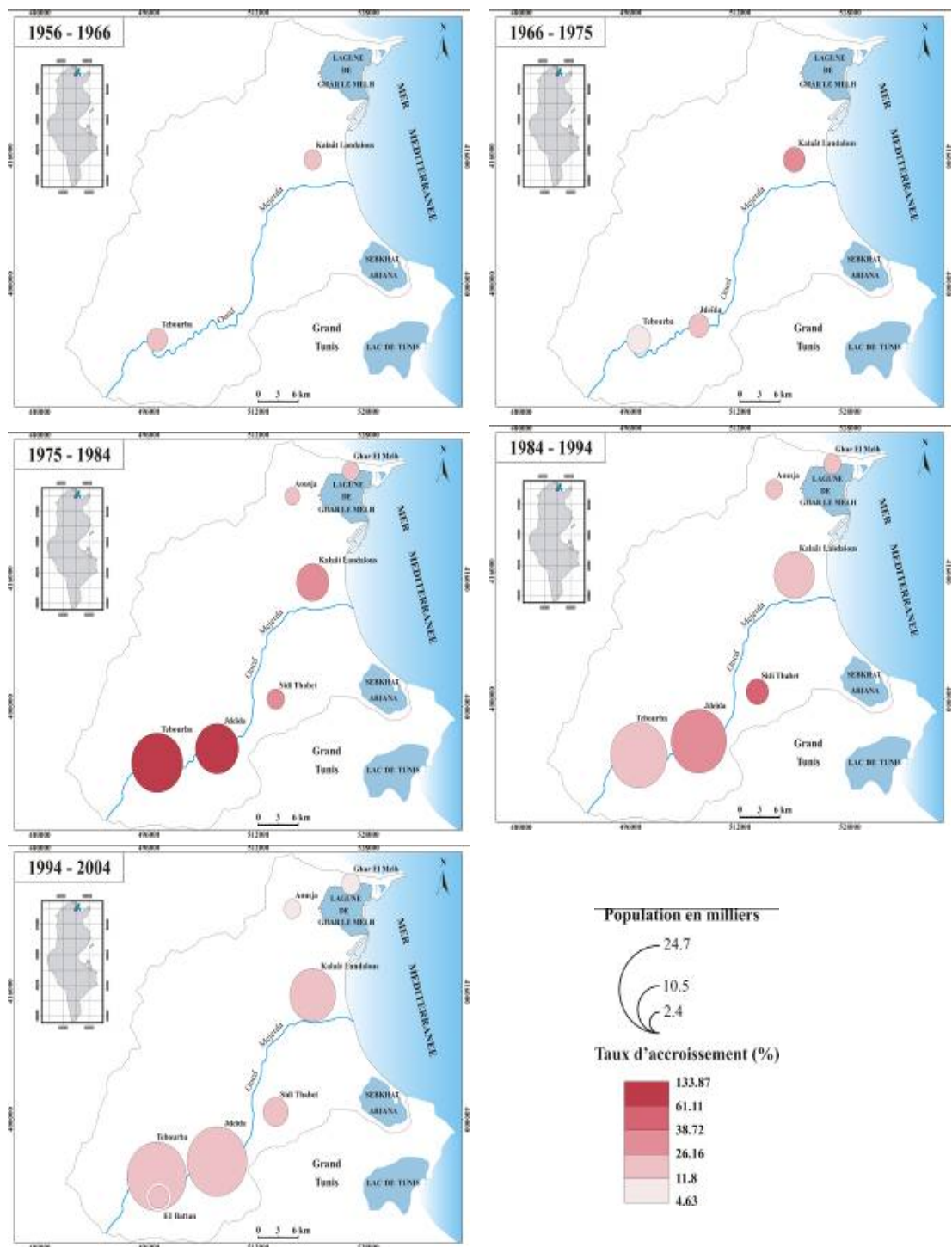
2.2- Quelques facteurs déterminants dans le processus d'urbanisation :

2.2.1- Une croissance importante de la population :

Le delta de Mejerda est l'une des zones la plus peuplée et la plus densément occupée en Tunisie. Elle compte 288.834 habitants en 2004, avec une densité de l'ordre de 232.07 h/km².

Les différents immigrés (Andalous, Turcs, Maltais, Zouaouas, Ouesslatias, Sahéliens...), installés dans le delta depuis des siècles, ont contribué à la croissance démographique et ont favorisé une renaissance de la vie "urbaine". Durant la période coloniale, l'exode rural, le recul de la mortalité se conjuguent pour faire croître la population de "la ville" et engendrer une vigoureuse urbanisation. Jusqu'aux années "1930", le rythme d'accroissement reste modéré ; il varie entre +0.3 % par an, pour l'agglomération de Ghar El Melh, et +1.7 % par an, pour l'agglomération de Kalaât Landalous, durant la période 1926-1936 (SIGNOLES P., 1985). Un léger accroissement dans le rythme a été marqué pour la période 1936-1956. En effet, "la ville" de Tebourba s'est caractérisée par un taux d'accroissement annuel élevé (+ 2.9 %), par rapport aux autres agglomérations (Jedeida +2.6 %; Ghar El Melh 2.2 %...), (SIGNOLES P., 1985). Après l'indépendance, les différents aménagements hydrauliques qui ont été installés pour la mise en valeur des terrains, l'évolution du poids de l'industrie agro-alimentaire ont contribué à la transformation des petites villes en centres d'appui techniques et administratifs (CHERIF A., 1995). Ces facteurs ont favorisé aussi une évolution dans l'armature urbaine. Par conséquent, plusieurs agglomérations ont évolué en chefs-lieux de délégations (Tebourba, El Battan, Jedeïda, Mornaguaia, Sidi Thabet, Kalaât Landalous, Raoued, Ghar El Melh, Utique). La diversification de leurs activités a joué un rôle déterminant dans l'organisation de l'espace et a constitué un facteur d'attraction et d'accroissement de la population.

L'ensemble des cartes (ill. n°99), illustre bien, l'accroissement de la population du delta durant les différentes périodes. Jusqu'aux années "1970", le rythme de la croissance reste modéré. A partir des années "1980", le delta a connu des taux de croissance assez remarquables : 133.87 % pour la ville de Jedeïda et 133.05 % pour la ville de Tebourba durant la période 1975-1984 (INS, 2005). En 2007, le taux d'accroissement de la population est devenu modéré, de l'ordre de 1 % par an.



ill. n° 99 : Une croissance galopante de la population du delta entre 1954 et 2004 (Données de l'I.N.S.)

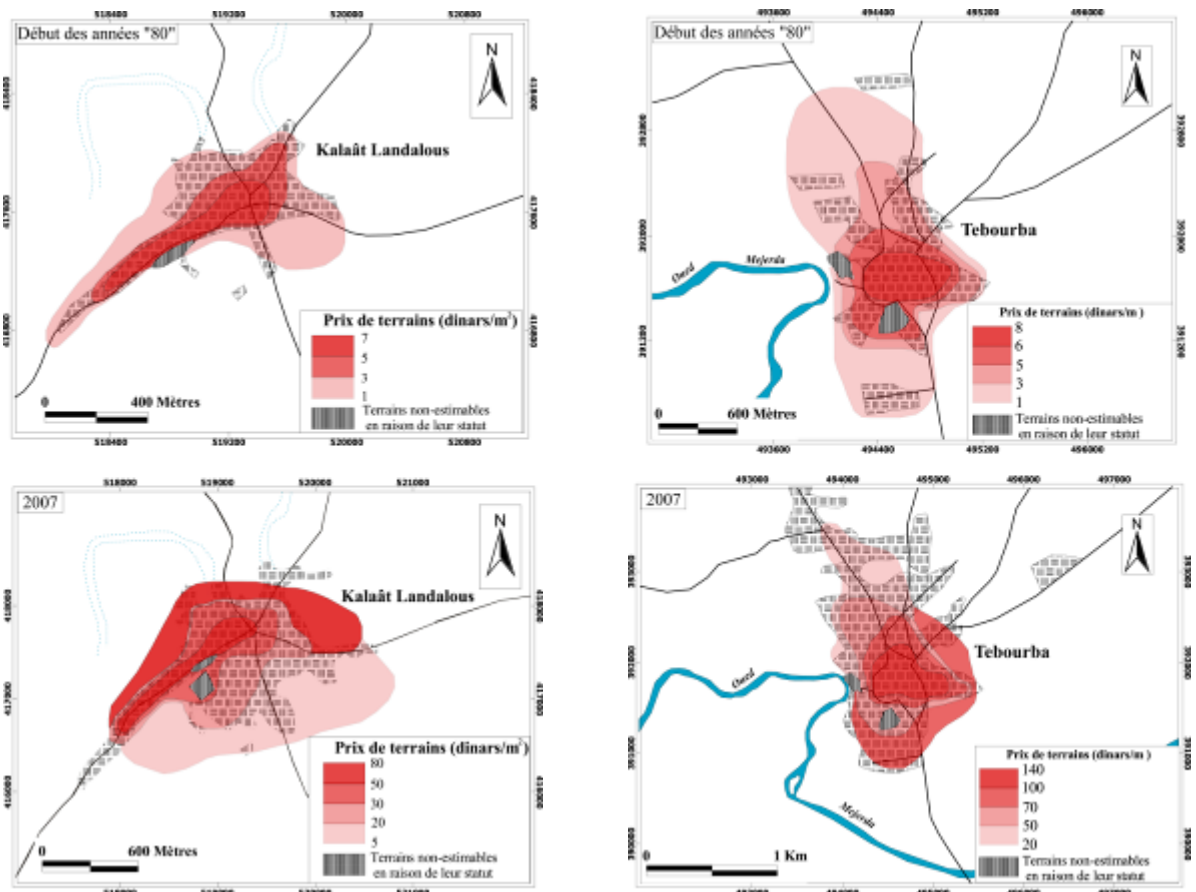
2.2.2- Le facteur foncier :

Le faible coût foncier des zones humides (zones d'interdiction pour toutes sortes de constructions) et marécageuses qui couvrent presque 1/5 du delta (côté littoral), ainsi que les collines qui ne dépassent pas 70 mètres d'altitude, font de ces secteurs des lieux de transfert de la forte demande en logement pour la population à revenu annuel moyen, voire médiocre.

De nombreuses catégories socioprofessionnelles sont attirées par les opportunités résidentielles dans un marché foncier et immobilier facilement accessible par rapport au Grand Tunis. L'enquête socioéconomique réalisée en 2007, nous a permis de distinguer au moins deux zones à faible coût foncier :

- La première zone se situe au Sud de la ville de Kalaât Landalous. Elle représente un secteur marécageux (garaâ). Les cartes de prix (ill. n°100), réalisée à partir de l'enquête (estimations auprès des personnes âgées), montrent bien qu'au début des années 1980, le prix du terrain dans ces secteurs marécageux ne dépasse pas 3 dinars/m².

ill. n°100: Evolution du prix des terrains à KalaâtLandalous et à Tebourba entre le début des années "1980" et l'an "2007" (enquête personnelle 2007), (les couronnes ont été réalisées sur des fonds topographiques au 1/25000 et sur des fonds des images Spot/XS de 2002 pour la ville de kalaât landalous et de 1999 pour la ville de Tebourba, ISIS-CNES)



topographiques au 1/25000 et sur des fonds des images Spot/XS de 2002 pour la ville de kalaât landalous et de 1999 pour la ville de Tebourba, ISIS-CNES)

En 2007, la situation n'a pas beaucoup changé. Le prix de ces terrains a légèrement augmenté (entre 5 et 20 dinars/m²), mais il reste toujours négligeable par rapport aux coûts surtout de l'ancien noyau de la ville. Une couronne de prix élevés (de 50 à 80 dinars/m²) cerne la ville dans sa partie Nord Est, Nord et Ouest. Cela est lié essentiellement à la mise en valeur de ces terrains (périmètres irrigués) depuis 1992. Il reste à signaler que ces terroirs

sont difficilement accessibles aux « étrangers », c'est-à-dire, non originaires de Kalaât Landalous.

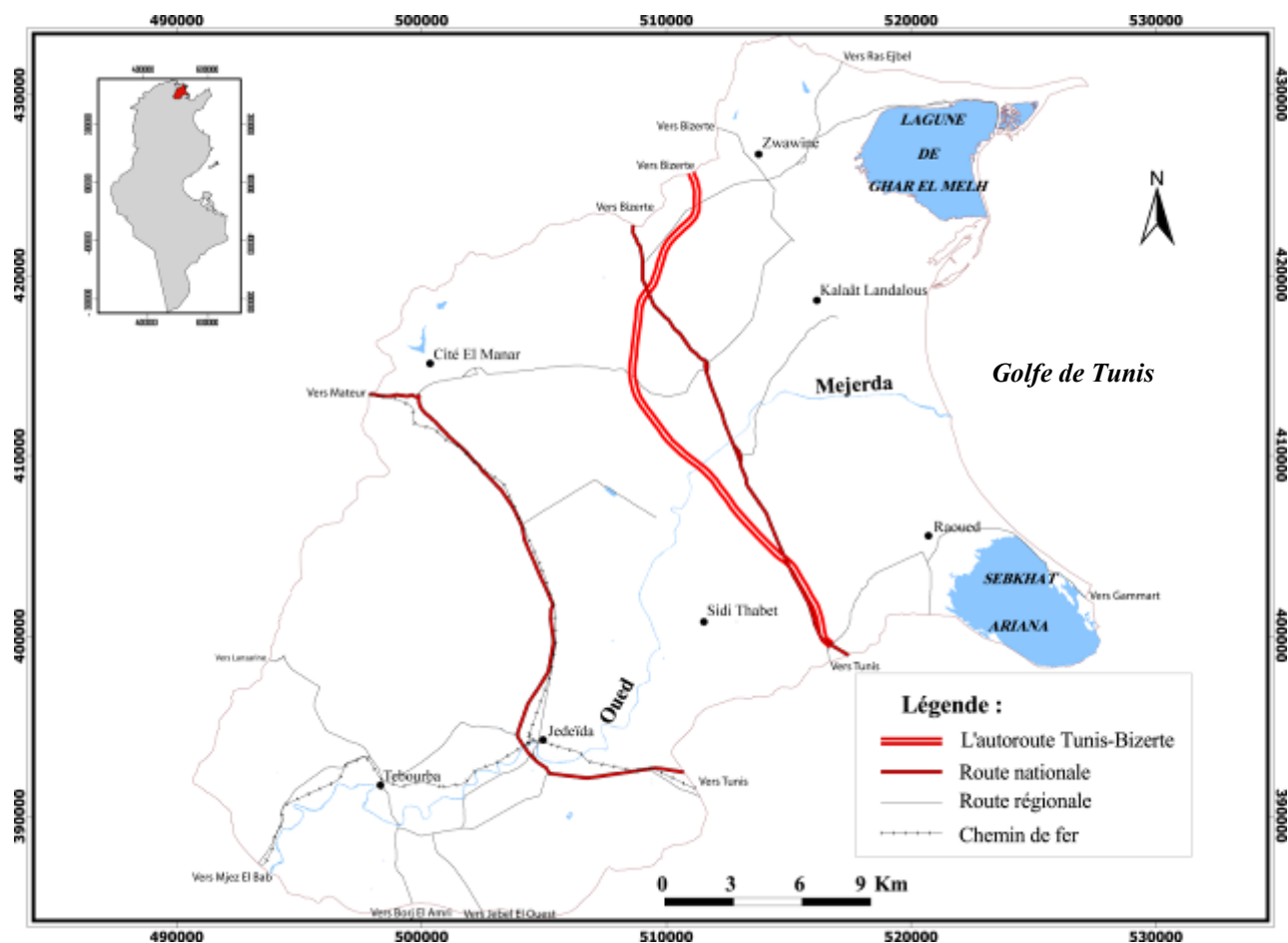
- Le deuxième exemple correspond à la colline de « Argoub Erroumi », qui se trouve au Nord Ouest de la ville de Tebourba, secteur à faible coût foncier. En comparaison avec l'ancien noyau (Sidi Gharsallah) et d'autres secteurs limitrophes, le coût moyen du m² n'a pas dépassé au début des années "1980" 3 dinars. En 2007, le coût moyen du m² est de 50 dinars (ill. n°100).

2.2.3- Le renforcement du réseau routier :

Le réseau routier se présente également comme le principal élément lisible influençant l'organisation de l'urbanisation. Avec l'effacement du rôle centralisateur de la ville, et l'apparition d'un espace multipolarisé, l'urbanité semble être guidée par les axes de communications. Le développement du réseau routier donne accès à de nouveaux espaces et permet ainsi la contagion de l'espace rural par la "périurbanisation" de loin en loin. La "périurbanisation" est par conséquent en partie contrôlée par les routes.

Le renforcement du réseau routier est un des axes structurants du Schéma Directeur d'Aménagement de Territoire National (SDATN) de 1996, qui représente l'outil de commandement et d'intégration de l'espace. L'autoroute Tunis-Bizerte (ill. n°101) rend le développement de certaines couronnes autour des villes possible surtout pour le Grand Tunis. L'accentuation du phénomène de "périurbanisation" peut toucher le secteur de Sabelet Ben Ammar, El Mnihla, sans oublier la transformation d'Utique en proche banlieue du Grand Tunis, ce qui favorise le développement des activités touristiques dans cette zone. La situation actuelle du trafic indique que l'autoroute est en faveur de Bizerte. Cette ville a toujours souffert d'un relatif isolement par rapport à son arrière-pays (SAMAALI H., 2004).

En ce qui concerne l'exurbanisation, on peut dire que certaines industries lourdes et polluantes qui existent aux seins des villes, peuvent se délocaliser vers l'espace rural tel que le secteur aménagé pour accueillir la zone industrielle d'Utique... Ceci engendrerait la diminution du taux de pollution dans l'espace urbain, avec un bénéfice du coût de sol qui reste acceptable par rapport aux coûts en milieu intra-urbain. Ainsi, le transport reste un facteur essentiel de la localisation industrielle quelque soit l'auteur (BELHARETH T., 1990).



ill. n°101 : Le réseau routier du delta de Mejerda (cartes topographiques au 1/25000 et carte de l'autoroute Tunis-Bizerte de 1999 au 1/200000).

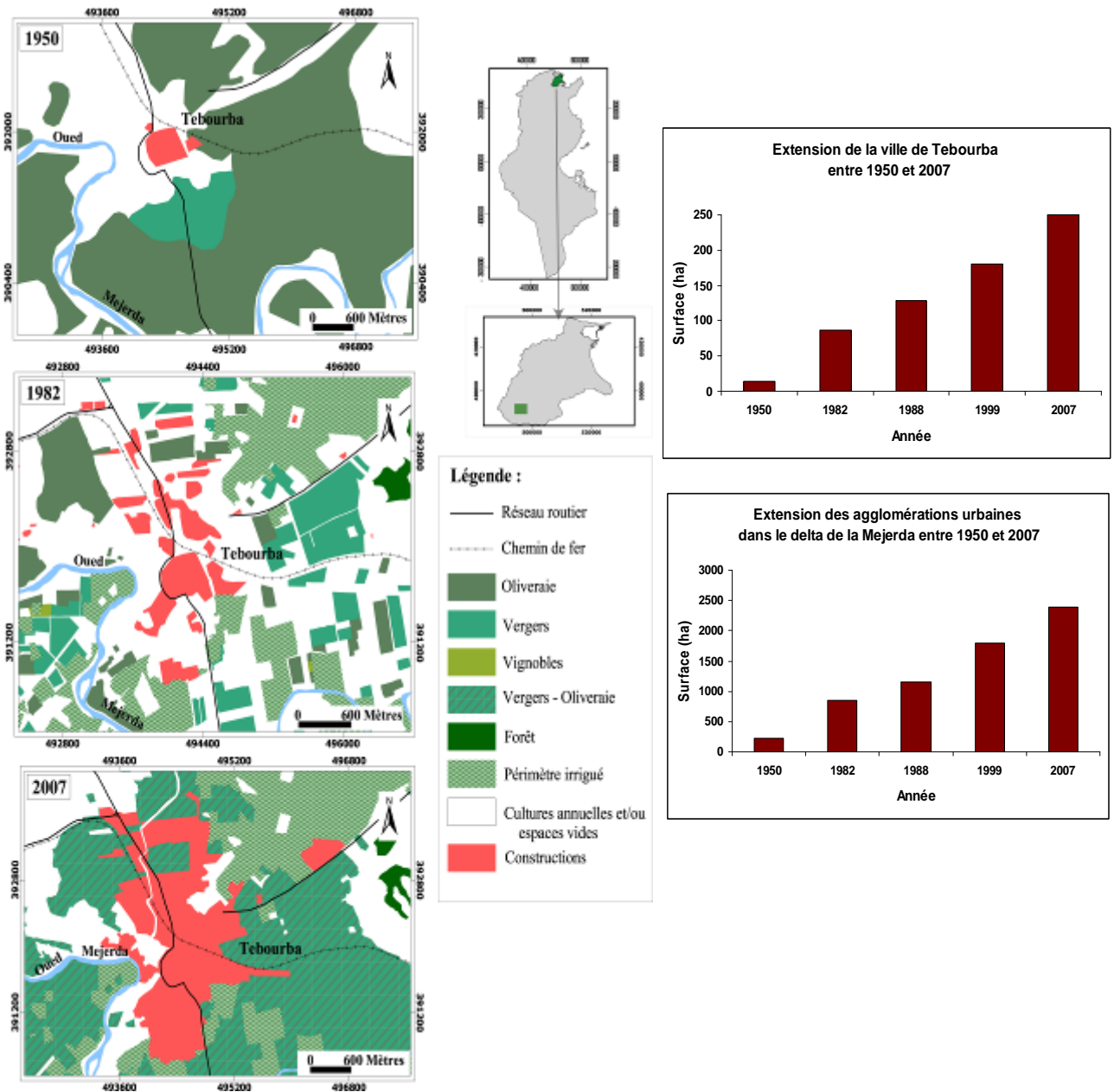
2.3- Conséquences de l'extension spatiale du bâti dans le delta :

2.3.1- Une urbanisation consommatrice de l'espace agricole :

Grâce aux différentes opérations de mise en valeur, plusieurs terrains marécageux constituent aujourd'hui une part importante du potentiel agricole dans le delta de Mejerda. L'emplacement stratégique des petites villes (du delta) à proximité du Grand Tunis, fait de ces dernières des espaces de transfert de la forte demande en logements profitant ainsi, d'opportunités résidentielles. Ce phénomène a accentué l'urbanisation et la "périurbanisation". Par conséquent, une extension urbaine aux dépens des terrains agricoles engendre une mutation fonctionnelle remarquable.

La ville de Tebourba représente une situation bien particulière. En effet, depuis 1950, la ville n'a cessé de s'étendre (ill. n°102) aux dépens des terrains agricoles fertiles. En 2007, la superficie totale de la ville est de l'ordre 250 hectares (1/10 de l'espace bâti du delta en 2007).

Une simple comparaison des trois dates, indique une régression des parcelles d'oliveraies dans les secteurs limitrophes de l'ancien noyau de la ville. Ainsi, la destruction de certains vergers et l'occupation de plusieurs terrains destinés aux cultures annuelles, constitue un impact énorme de cette dynamique urbaine.



ill. n°102: La ville de Tebourba: Une extension spatiale s'est faite essentiellement au dépens de l'oliveraie (cartes topographiques aux 1/25000 et aux 1/50000 ; Extraits Google Earth©, 2007 et enquête personnelle 2007).

La question qui se pose toujours est : Comment peut-on maîtriser cette urbanisation, voire "périurbanisation" qui menace la ceinture verte du Grand Tunis ?

2.3.2- L'extension produite parfois dans des zones à risque d'inondation :

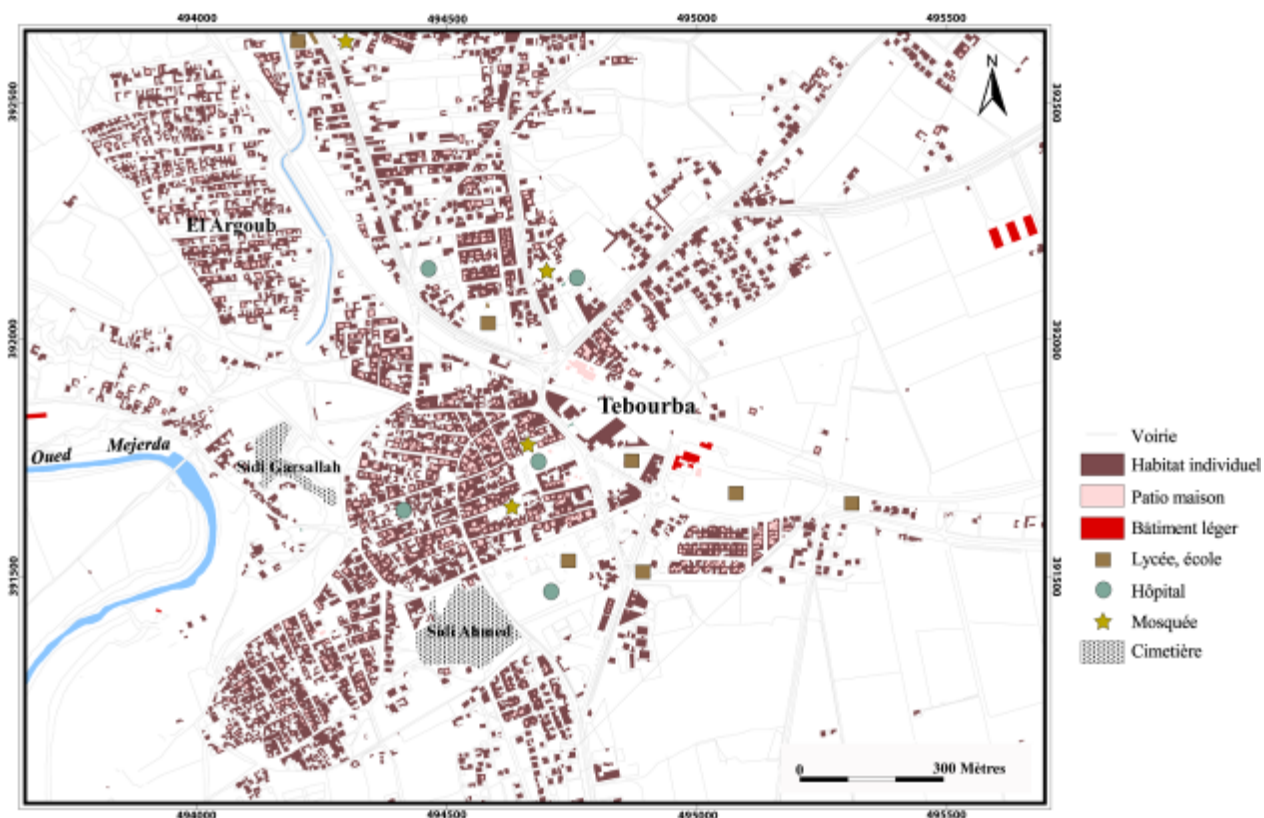
L'aléa inondation est très fort dans les plaines de la haute, moyenne et basse vallée de Mejerda. A cela s'ajoutent des imprudences qui ont conduit à l'installation humaine dans des lieux inhabitables en théorie et qui causent des dégâts plus ou moins importants au fil des années. Un examen de différentes agglomérations du delta de Mejerda montre en effet que « leurs parties les plus anciennes occupent très souvent des sites bons » (OUESLATI A., 1999). Le bâti et les différents autres aménagements ont dépassé les sites initiaux avec des rythmes d'extension très rapides. Ils ont débordé sur des terrains déprimés, voire des terrains collés à des oueds. Les exemples sont multiples ; Kalaât Landalous, Tebourba, Utique nouvelle, El Mabtouh...

Le centre historique de la ville de Kalaât Landalous, s'est installé en hauteur. L'extension de la ville s'est réalisée sur des terrains inondables avec la présence de bras morts qui sont occupés par les eaux lors des épisodes pluvieux intenses. Des quartiers entiers ont vu le jour sur des terrains marécageux (zones humides) surtout dans la partie sud de la ville. Parfois les constructions sont installées dans des secteurs qui correspondent à d'anciens lits d'oued Mejerda (OUESLATI A., 1999). Les terrains inondés pour une partie de l'année servent de réservoirs à moustiques dès que la chaleur se représente et pose un véritable problème d'hygiène.

3- Les différents types d'habitations : Dominance de type habitat individuel.

Considérant les modèles architecturaux et les modes d'occupation et d'utilisation des locaux dans le tissu urbain, quatre types d'habitat ont été ressortis :

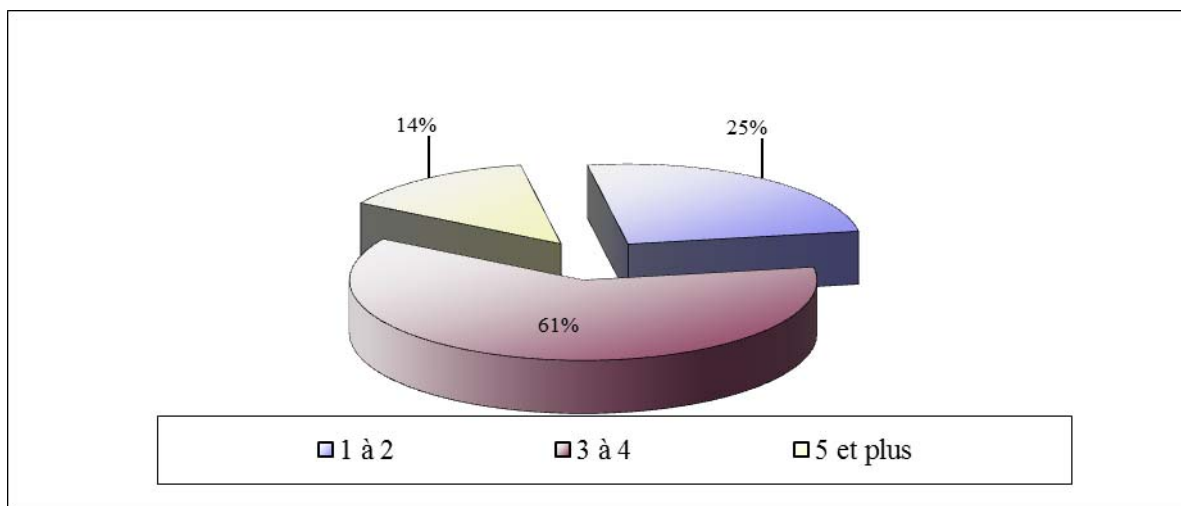
- ***L'habitat individuel*** : Ce type d'habitat occupe une position prédominante dans le delta avec une surface estimée à 2208 ha, soit 92 % (exemple ; typologie de l'habitat dans le tissu urbain de Tebourba, ill. n°103). La part de l'habitat individuel de faible densité de type « villa » isolé ou jumelé est encore importante. Ceux-ci sont partout présents dans la troisième et la quatrième couronne d'extension spatiale de tissu urbain (1988-1999/1999-2007) dans les principales agglomérations du delta. Les « villas » ont commencé à surgir depuis que des transformations socio-culturelles et socio-économiques aient eu lieu dans la région. Aujourd'hui, ces constructions constituent une rupture avec le modèle architectural précédent (BEN SALEM M., 1996).



ill. n°103 : Typologie du bâti dans le tissu urbain de Tebourba (AUGT, 2006).

- **L'habitat collectif** : Ce type d'habitat ne représente que 2% de la surface bâti. Il est dominé par des bâtiments légers localisés essentiellement à Raoued, Tebourba (ill. n°103), Jedeïda et Kalaât Landalous.
- **L'habitat de l'ancien noyau** : Dans la plupart des agglomérations du delta, l'ancien noyau est fortement influencé par le style Andalous. Il est composé de logements traditionnels de types « *Houch* », où son architecture comporte souvent, une cour centrale, en plus le type de matériaux utilisé et la disposition des pièces sont bien étudiés (BEN SALEM M., 1996).
- **Le polyfonctionnel** : Il représente 4% de la surface totale des zones d'habitat et regroupe les logements sociaux des opérations programmées par les autorités publiques.

Du point de vue taille (nombre de pièces par logement), la majorité des logements sont de taille moyenne (3.91 pièces). En effet, la part de ces logements est de l'ordre de 61% (ill. n°104). Ce constat rappelle celui de la répartition des logements dans l'ensemble du Grand Tunis, 50.5% ont entre 3 et 4 pièces en 2004 (INS, 2005).



ill. n°104 : Répartition des logements du delta de Mejerda selon le nombre de pièces
(Enquête personnelle, 2007)

La part des logements spacieux, composés de cinq pièces et plus, est de l'ordre de 14%. Néanmoins les logements exigus (1 ou 2 pièces) représentent plus du quart des logements du delta de Mejerda (ill. n°104). Par conséquent près de 25% des ménages vivent dans des conditions de forte densité d'occupation des logements.

4- Les principaux secteurs économiques en dehors de l'agriculture :

Jusqu'à la moitié des années « 1970 », le développement économique du delta de Mejerda a été essentiellement basé sur son importance agricole. Par la suite, la loi de décentralisation en aménagement de territoire qui date de 1978 a permis le développement de toute une armature industrielle dominée par les activités de textiles et habillements et les activités agro-alimentaires, tandis que l'infrastructure et les activités touristiques sont encore très peu développées dans le delta de Mejerda.

4.1- L'industrie : domination des activités de textiles, d'habillements et d'agro-alimentaires.

Fortement liée aux intérêts des autorités coloniales puis à l'initiative publique au cours des années « 1960 », l'industrie dans le Nord Est de la Tunisie s'est longtemps caractérisée par une localisation ponctuelle privilégiant les foyers urbains les plus importants, à savoir le Grand Tunis, Bizerte et Menzel Bourguiba. Jusqu'à une date tardive on y trouve dans le delta que des traditions artisanales remontant à un passé lointain (travail de la tapisserie, broderie, le foulage ou Chachia à El Battan...). Ces activités entrent dans le cadre de la stratégie productive et territoriale du groupe et exploitent les sources locales de matières premières : laine, bois, olives, matériaux de construction... (CHERIF A., 1995).

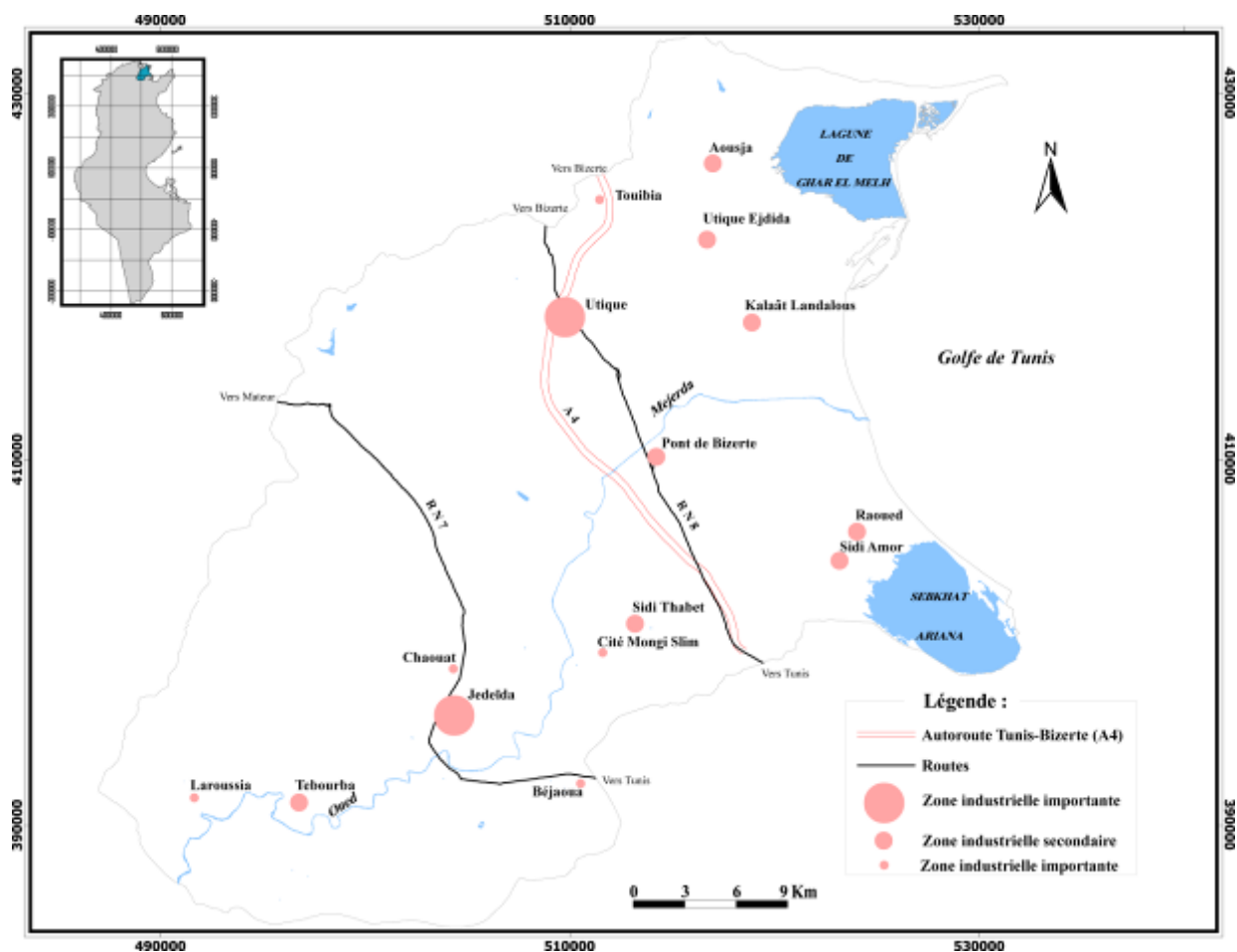
La première grande zone industrielle installée dans le delta de Mejerda remonte à 1978 (zone industrielle d'Utique : photo n°29). Elle a été créée par le gouvernement de Bizerte en 1978 dans le cadre de la décentralisation industrielle. Elle se trouve au Sud du point de raccordement de l'autoroute Tunis-Bizerte avec la route nationale n°8 (de Bizerte) et elle couvrait 35 hectares.

Avec une légère domination de textile, la zone industrielle d'Utique comporte 38 sociétés entre unités industrielles et sociétés de services (enquête 2007). L'ensemble de ces sociétés est réparti dans le tableau n° 16 selon le domaine d'activités.

A la suite de l'extension des secteurs irrigués et de la nouvelle législation en matière d'investissement (MEAT, 1985), l'industrie a acquis une dimension régionale. Elle anime plus d'un centre (ill. n°105) et elle est considérée comme le moteur de développement économique au sein de chaque délégation, même si certaines n'ont pas été touchées par le processus de la diffusion de l'industrie.



Photo n°29 : Les différentes usines dominant la partie Ouest de la zone industrielle d'Utique.



ill. n°105 : L'armature industrielle du delta de Mejerda (Enquête personnelle, 2007 & CGDR, 2007).

On a pu dénombrer dans le delta de Mejerda 10 zones industrielles dont 2 sont importantes (celles d'Utique et de Jedeïda). Les implantations industrielles ponctuelles que ce soit dans la ville ou dans la campagne sont rares. Nous avons recensé quelques unités spécialisées dans la conserverie notamment à Bejaoua, dans l'agro-alimentaire (fromagerie Essouani à Laroussia) et dans l'habillement (Touibia). L'apparition de ces unités ponctuelles, qui sont éparpillés, a commencé au début des années 1990 (CGDR, 2007).

La répartition sectorielle des entreprises montre une nette domination des industries de textiles, d'habillements et de cuirs (ITHC) et des industries agro-alimentaires (IAA), puisque ces deux branches accaparent 48.06 % (tableau n°16) des établissements et fournissent 6776 emplois, soit 64.4 % de l'emploi industriel dans le delta de Mejerda (CGDR, 2007). La délégation de Raoued domine les entreprises ITHC avec 35.13 %, tandis que celle d'Utique domine l'activité IAA avec 40 % des installations.

Tableau n°16 : Répartition des industries dans le delta de Mejerda selon le domaine d'activité et la délégation

Délégations Domaines d'activités	Ariana			Manouba		Bizerte		Total	%
	Raoued	Kalaât Landalous	Sidi Thabet	Tebourba	Jedeïda	Ghar El Melh	Utique		
ITHC	13	3	5	1	1	4	10	37	28.68
IMME	7	2	1	-	2	-	9	21	16.27
ID	5	-	-	-	3	-	8	16	12.4
IAA	4	-	2	4	2	3	10	25	19.37
ICH	2	-	3	-	-	-	2	7	5.4
IMCCV	8	-	2	-	-	-	3	13	10.07
Autres activités.	-	-	-	2	2	-	6	10	7.75
Total	39	5	13	7	10	7	48	129	100

Source : Enquête personnelle 2007 & CGDR, 2007.

Les industries métallurgiques, mécaniques et électriques (IMME) sont bien représentées en termes de réalisation d'investissement et de création d'emplois. Elles concernent 16.27 % des établissements industriels (tableau n°16) dont 42.85 % et 33.33 % se localisent respectivement à Utique et à Raoued. L'industrie chimique (ICH) est peu présente dans le delta, soit 5.42 % des établissements industriels, avec une contribution à la création d'emploi très faible représentant 1.2 % de l'ensemble de l'emploi industriel (CGDR, 2007).

En somme l'activité industrielle parvient à employer 10521 personnes (CGDR, 2007) en âge actif, répartis sur les 129 unités industrielles. Il s'agit le plus souvent d'une main d'œuvre féminine moyennement scolarisée surtout pour les activités textiles. Les industries artisanales ne sont plus négligeables et sont dominées par le foulage, le travail de la tapisserie... Cette dernière emploie 422 personnes à Kalaât Landalous et produit près de 7070 m³ chaque année (CGDR, 2007).

Les activités industrielles ont eu de nombreuses répercussions sur les transformations socio-économiques et mentales des habitants de la campagne, des villages et des villes du delta de Mejerda. Elles constituent de nouvelles sources de revenu pour la famille.

4.2- Le secteur touristique : un dynamisme très limité.

Malgré ses potentialités, le tourisme régional se caractérise par un dynamisme très limité et une léthargie chronique qui contrastent fortement avec les foyers touristiques du reste du pays.

L'infrastructure hôtelière du delta se concentre dans la partie Sud-Est (les environs Est de sebkhat l'Ariana). Elle évolue considérablement depuis le début des années 1980. En effet sur les six unités recensées en 1998, une seulement existait en 1982 (Touring). La capacité d'hébergement est de 441 lits (enquête personnelle 2007), soit moins de 1 % de la capacité d'hébergement nationale. En 2007, les unités hôtelières du delta n'ont d'ailleurs enregistré que 13793 arrivants (moins de 1 % du total national). Le taux d'occupation est de l'ordre de 48.7 %. Il est ainsi inférieur à la moyenne nationale (57.6 %). Les principales causes de cette faible importance du tourisme dans le delta sont :

- Un équipement para-hôtelier déficient, puisque plusieurs unités recensées, ne disposent pas d'une infrastructure de restauration étoffée.
- Le stress occasionnelle engendré par les environs du site (odeur désagréable et aèdes provenant de sebkhat Ariana).

Les retards accumulés dans le domaine de la rénovation et l'extension ont donc fortement pénalisé la région d'étude par rapport aux foyers touristiques du Golfe de Hammamet et du Sahel. Cette stagnation et ce faible dynamisme du secteur expliquent son caractère marginal en tant que secteur créateur d'emplois, en comparaison avec l'agriculture ou avec l'industrie, dont les effectifs des employés ont progressé de façon nette depuis le début des années 1970.

Le nombre d'emplois directs générés par l'activité touristiques ne dépasse pas 111 actifs (enquête personnelle), et ce malgré une augmentation continue, quoique faible, par rapport à 1982, date à laquelle on a enregistré seulement 17 emplois.

Conclusion :

L'état actuel de l'occupation-utilisation du sol dans le delta est le résultat d'une dynamique spatiale très accélérée au cours de la deuxième moitié du XX^{ème} siècle.

Un intérêt majeur a été accordé à la dynamique des éléments du milieu naturel (formations forestières et pré-forestières, lagunes, sebkhas, garâas, plages...). Les différentes planches cartographiques nous ont permis de mettre en évidence que les changements de ces écosystèmes sont le résultat de divers processus naturels mais surtout anthropiques.

L'intensification à outrance des activités agricoles et de certaines activités non agricoles est la conséquence du passage d'une agriculture d'autosubsistance à une agriculture intensive. L'essor de l'agriculture irriguée est le fait de l'intervention de l'Etat indépendant au moyen des différents aménagements hydrauliques. L'intégration de la région dans le Plan Directeur des Eaux du Nord a fondé une agriculture de haute valeur, intégrée à l'économie du marché. Les petites villes, ont également un rôle essentiel dans l'organisation technique et administrative de l'espace irrigué avec une certaine configuration hiérarchisée.

L'expansion rapide de l'espace bâti et de nouvelles activités (notamment industrielle), depuis la fin des années 1970, a eu un impact considérable sur l'occupation de l'espace et l'utilisation des ressources naturelles. Cette expansion s'est faite au dépens des équilibres socio-économiques et spatiaux et ont eu diverses retombées :

- Accroissement de l'urbanisation et extension de l'espace bâti, au détriment de l'espace à vocation agricole.
- Accroissement de la pression sur les ressources vitales notamment l'eau et le sol, entraînant un danger de dégradation du potentiel écologique.
- La modification rapide des conditions de vie des populations et l'avenir de la zone dépendra encore plus des besoins de Tunis et des décideurs locaux et internationaux.

Ces différents problèmes seront d'avantage analysés dans la troisième partie et seront également prise en compte dans l'élaboration d'un prototype de carte d'occupation-utilisation du delta de Mejerda.

TROISIEME PARTIE
PROTOTYPE DE CARTE
DE SYNTHESE, PROBLEMES ET
APPROCHE PREDICTIVE
DE L'OCCUPATION-UTILISATION
DU SOL DANS LE DELTA DE
MEJERDA :

Introduction :

Cette troisième partie s'attache à présenter une synthèse cartographique des travaux réalisés pour les différents milieux du delta de Mejerda. Elle décrit les différents problèmes soulevés de l'occupation-utilisation du sol et insiste sur l'intérêt de développer une méthode reproductible qui permet d'effectuer une prédiction à court terme de la couverture hivernale des sols en contexte agricole intensif.

En premier lieu, il s'agit de mettre en place un prototype de carte d'occupation-utilisation du sol basé sur les règles de la sémiologie graphique. L'hierarchisation de la légende est en grande partie déduite de celle du projet « *CORINE Land Cover* ». Les difficultés qu'il faut prendre en considération sont essentiellement :

- La diversité et l'hétérogénéité des informations géographiques à représenter.
- La représentation cartographique de « la dynamique » sur un document analogique (papier) qui ne supporte pas le mouvement.
- L'échelle choisie pour l'impression et les détails de la base de données.

Le second chapitre présente quelques problèmes soulevés par l'occupation-utilisation du sol dans le delta de Mejerda. On va s'intéresser tout d'abord aux inondations catastrophiques et leur impact sur les morphologies paysagères dans le delta. Le même intérêt est accordé aux phénomènes nuisibles à l'agriculture, à savoir, la salinisation des nappes et les rejets industriels. Tout de même, l'augmentation du tarif de l'eau d'irrigation, la mobilité foncière, le morcellement des propriétés agricoles, le conflit d'usage du sol sont des thèmes qui méritent une attention particulière.

L'objectif du troisième et dernier chapitre est de développer une méthode reproductible qui permet d'effectuer une prédiction à court terme de la couverture hivernale des sols dans le périmètre irrigué de Kalaât Landalous. L'élaboration de scénarios prospectifs spatialisés à grande échelle, constitue une méthode puissante pour donner une image des futurs possibles des territoires agricoles du delta de Mejerda.

Chapitre 1 :

**VERS UNE CARTOGRAPHIE DE
SYNTHESE ET L'ELABORATION D'UN PROTOTYPE
DE CARTE D'OCCUPATION-UTILISATION DU SOL**

Dans ce chapitre, on tentera de mettre en place un prototype de carte d'occupation-utilisation du sol basé sur les règles strictes de la sémiologie graphique et déduite de celles du projet « *CORINE Land Cover* ». Il est intéressant également de choisir une échelle de sortie (impression) convenable aux détails de la base de données.

1- La sémiologie graphique et la cartographie de l'occupation-utilisation du sol : progrès et nécessité.

C'est dans le vaste domaine de géographie que les cartographes ont appliqué les principes de BERTIN J.. La carte de l'occupation -utilisation du sol a profité indirectement des règles de la sémiologie graphique. En effet, celle de l'IAURIF (France) contient une légende plus au moins complexe et largement basée sur les propriétés des variables visuelles. La sélectivité de la couleur, pour distinguer les grandes catégories. L'ordre de la valeur afin de suggérer les différences de densité (de jaune au rouge pour l'habitat par exemple). La texture-structure et l'orientation pour les sous catégories. Les couleurs chaudes pour les phénomènes en état d'amélioration, les couleurs froides pour les phénomènes en état de dégradation et la couleur jaunâtre pour un état en stabilité. La sémiologie graphique mérite un long développement car son bon usage garantit le bon message (STEINBERG J., 1996).

La cartographie de l'occupation -utilisation du sol a beaucoup profité de la symbolique conventionnelle créée au début des années "1960". Elle tente de mettre en valeur à l'aide des symboles, des figures et des couleurs...la relation entre l'homme et le milieu naturel (OMRANE M.N., 1977).

1.1- La carte de synthèse : une utilité...

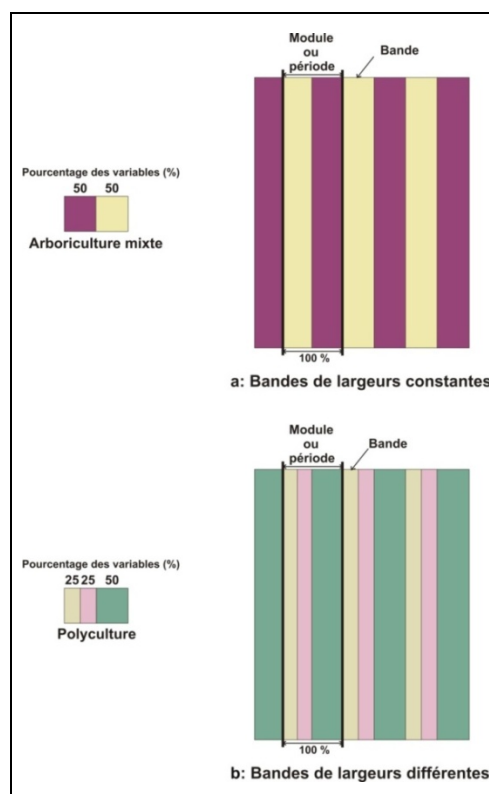
La diversité des éléments géographiques qu'il faut prendre en considération, traduit la difficulté dans l'élaboration d'une carte d'occupation-utilisation des sols. En effet, il faudrait sélectionner convenablement, ceux qui méritent une attention particulière, donc réunir une information disparate et dispersée dans les différents documents (cartes topographiques à différentes dates et échelles, photographies aériennes à différentes dates et échelles, images satellitaires à différentes dates et résolutions...). Cependant, la carte de synthèse constitue un document, où on a harmonisé et regroupé des éléments hétérogènes (potentiel écologique, contraintes et aménagements). L'essentiel problème soulevé lors de l'élaboration de cette carte est celui de la généralisation cartographique. En effet, il faudrait choisir une

information parmi plusieurs sans perdre les idées essentielles. Cette obligation est imposée par la visibilité donc par l'échelle.

Dans le but de résoudre la question du choix de l'information, on a commencé par la carte d'analyse qui traite uniquement un thème en vue de représenter sa répartition spatiale, son extension ou son évolution. Par la suite, on a élaboré un prototype de carte d'occupation-utilisation des sols qui procède du simple vers le composé et le complexe et qui représente un véritable document où on a combiné, corrélé et comparé des faits géographiques. Chacune de ces deux cartes nécessite un langage ou une lecture différente l'une de l'autre (YENGUI T., 2006).

Il reste à évoquer la question de « la contradiction » entre la représentation cartographique des dynamiques (cartes dynamiques) et la définition classique qui affirme que « la carte est une image rationnelle qui n'admet pas le mouvement » (BERTIN J., 1977 in YENGUI T., 2006). Il est évident alors d'utiliser un symbolisme qui montre la dynamique même sur des supports analogiques (papier).

1.2- Les bandes alternées :



ill. n° 106 : Exemple d'application de la méthode par bandes alternées.
 (Exemple tiré de la carte d'occupation du sol du Sahel de Bizerte, BEN SALEM. M., 1996)

La diversité des éléments géographiques, complique la représentation cartographique. "La méthode par bandes alternées" de "Perpillou" a montré une efficacité sémiologique et graphique importante. « Elle s'avère l'une des meilleures méthodes pour la représentation cartographique de l'occupation du sol » (NASR M., 2007). La représentation par bandes alternées est basée sur des pourcentages (l'ensemble des éléments à représenter doit avoir 100 %) et peut être en couleur, en niveau de gris ou en trame (ill. n°106).

Les cartes par bandes de largeurs différentes et les cartes par bandes de largeurs constantes constituent les deux grands types par bandes alternées. Aujourd'hui, avec l'essor des outils CAO, ces bandes là sont rarement utilisées malgré leur efficacité sémiologique. Elles sont remplacées par une infinité de trames et de couleurs additives.

2- La représentation cartographique du prototype :

2.1- définition du prototype :

Le prototype de carte, constitue un document-modèle original, basé dans sa conception sur les variables visuelles. C'est un document de synthèse qui intègre plusieurs couches d'informations, représentées selon les trois modes d'implantations ; ponctuelle, linéaire et zonale (symboles, lignes et trames).

La déduction des éléments cartographiques du projet « *CORINE Land Cover* », ne rejette pas la définition en question car on a adopté notre propre hiérarchisation concernant la légende. Cependant, pour qu'une carte soit un prototype, il faut respecter les deux conditions suivantes :

- Le prototype est généralement relatif à un ou plusieurs thèmes dans leurs totalités, donc l'étude doit s'intéresser à tous les éléments, les aspects et les manifestations des thèmes à analyser pour créer une légende type (YENGUI T., 2006).
- La procédure de l'élaboration d'un prototype de carte, s'effectue d'une façon inverse par rapport aux cartes classiques. En effet, il faut tout d'abord découper l'espace en un ensemble d'unités juxtaposées (ou tout simplement utiliser un découpage administratif existant), Ensuite, il faut choisir l'unité spatiale la plus hétérogène, formée d'éléments de nature différente et englobe les principaux aspects et les manifestations du thème de la dynamique.

2.2- La conception cartographique d'un prototype de carte :

2.2.1- Le choix de l'échelle :

Le choix de l'échelle dépend de la résolution spatiale recherchée, de l'importance de l'information à représenter et le format qui doit être adapté en conséquence. Il définit également la précision de la représentation et implique le niveau de l'analyse de l'information.

- *A petite échelle (exemple ; carte au 1/500 000)* : Il ne peut s'agir que d'une vue très générale des éléments à représenter. Dans ce cas, il est possible de réaliser la carte de synthèse sur un format « A3 » ou même « A4 ». Toutefois, il faut garder l'essentiel de l'information et la carte sera alors trop généralisée. Par conséquent, il est impossible d'effectuer des corrélations entre les composantes de paysage.

- *A grande échelle (exemple ; carte au 1/25 000)* : Il est très difficile de représenter et d'imprimer la carte d'occupation-utilisation du sol du delta de Mejerda en utilisant un seul fond de papier « A1 ». En plus la plupart des cartes à grandes échelles sont restées à l'état d'exemples isolés. La grande variabilité qualitative et quantitative constitue un obstacle cartographique (JOLY F., 1976).

C'est pourquoi, on adopte l'échelle 1/100 000 (moyenne échelle) pour la conception du prototype de carte d'occupation-utilisation du sol pour le delta de Mejerda et cela pour plusieurs raisons :

- Au niveau de la représentation et de l'impression il est possible d'utiliser un format de papier « A1 » pour la totalité du delta.

- Il s'agit d'une échelle adaptée pour la réalisation des cartes d'occupation des sols issues du projet « *CORINE Land Cover* ».

- A moyenne échelle (comme celle au 1/100 000), il est possible d'établir une carte expérimentale qui nous permettra de rechercher des corrélations entre les thèmes étudiés.

Après avoir retenu l'échelle de travail (1/100 000) et dans le but de reconstituer une base de données homogène, on a regroupé certains thèmes. L'échelle choisie détermine donc le degré de généralisation. Le passage d'une échelle trop détaillée (comme c'est le cas de la couche d'occupation du sol du projet *INFOTEL* au 1/50 000) à l'échelle moyenne contraint à faire des choix dans l'information.

Conformément aux options générales de la base de données « *CORINE Land Cover* », et à l'échelle de travail retenue, la taille théorique de la plus petite superficie cartographiée (unité spatiale¹⁴³) est de 4 hectares au sol, soit un carré de 2 mm de côté au 1/100000. Dans la pratique, des éléments de l'occupation du sol inférieurs à cette superficie ont parfois été cartographiés lorsqu'ils avaient une importance significative (village, infrastructure de loisirs, ...). De même, la largeur de l'élément linéaire le plus étroit est déterminé par le choix de l'échelle de travail. Celle-ci est en théorie de 100 mètres au sol, soit 1 mm au 1/100 000. Vu le rôle important des routes, la représentation ne respectent pas toujours l'échelle adoptée (voir carte d'occupation-utilisation du sol du delta de Mejerda, après annexes). Certains tronçons plus étroits ont été également cartographiés afin de maintenir la continuité des éléments linéaires dans la base de données.

Le produit issu de la base de données va être délivré par une seule feuille à l'échelle 1/100 000, en projection Conique Conforme de LAMBERT Nord Tunisie (l'unité de référence est le mètre), et l'amorce du quadrillage est à base de 5 km (voir carte de synthèse, après annexes).

2.2.2- La classification des données selon le type d'implantation :

L'organisation en couches d'informations est dictée par le volume très important de données et d'objets d'occupation/utilisation du sol à représenter. Dans le but de faciliter l'accès à l'information, on a choisi de créer une couche vectorielle pour chaque élément spatial qui se représente cartographiquement selon son type d'implantation.

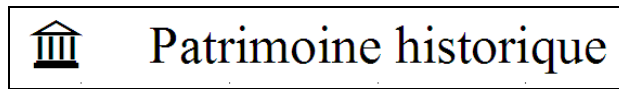
2.2.2.1- L'implantation ponctuelle :

L'implantation ponctuelle désigne tout graphisme isolé et de petite taille. Les symboles utilisés dans la carte d'occupation-utilisation du sol du delta de Mejerda ont un caractère de différenciation (données qualitatives) nominale et ordinale. Près de 11 éléments dans la carte ont une implantation ponctuelle (site inondable, zone industrielle importante, zone industrielle secondaire, usine ou fabrique, hypermarché...). La visibilité et la sélectivité des graphismes sont primordiales afin de distinguer la distribution des objets sur la carte. Pour ce faire, on a utilisé la variable visuelle « forme » :

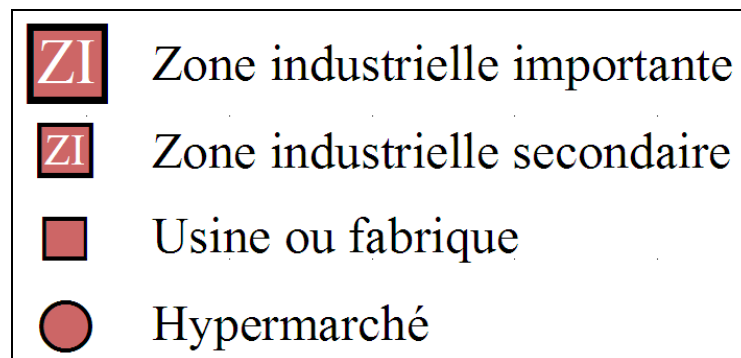
- Des symboles figuratifs (pictogrammes) : Ils sont plus ou moins stylisés et occupent une surface assez importante capable de traduire suffisamment de détails pour rendre le

¹³ : L'unité spatiale correspond soit "à une zone dont la couverture peut être considérée comme homogène, soit à une combinaison de zones élémentaires qui, à travers ses variations, représente des structures d'occupation envisagées comme une même classe d'occupation du sol".

phénomène reconnaissable (NASR M., 2007). A titre d'exemple la représentation du patrimoine historique par le symbole suivant :

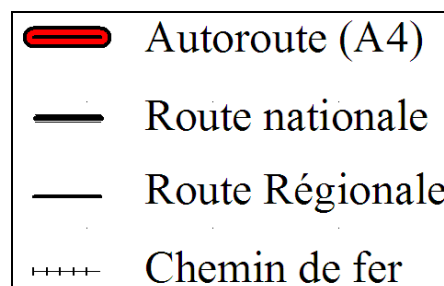


- Des symboles conventionnels : Ils représentent des formes géométriques auxquelles on attribue une signification symbolique pour mettre en relation le phénomène par la forme équivalente du symbole ; comme par exemple le carré pour les activités industrielles, le cercle pour celles de commerces et de services :



2.2.2.2- L'implantation linéaire :

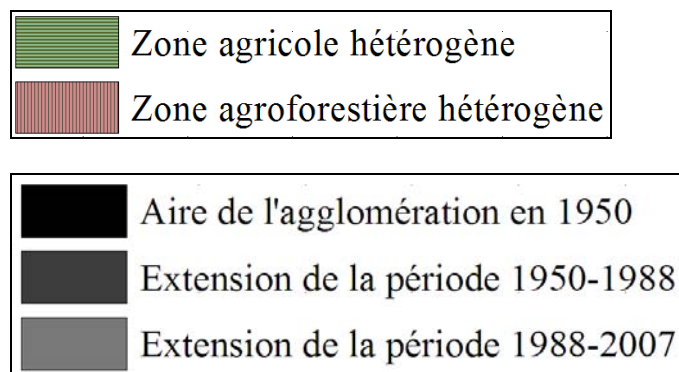
L'implantation linéaire est présentée dans la carte d'occupation et d'utilisation du sol par le réseau de communications et par le réseau hydrographique. Dans le but de différencier les axes routiers entre eux (autoroute, route nationale, route régionale et chemin de fer), on a utilisé à la fois la variable « couleur » et la variable « taille » dans sa propriété ordinale :



2.2.2.3- L'implantation zonale :

On a digitalisé près de 10500 polygones qui se répartissent sur toute la zone à cartographier. On a gardé seulement près de 9000 polygones après la généralisation et le regroupement des thèmes vectorisés. Cette couche surfacique nécessite l'organisation et le classement de ses thèmes en ensembles homogènes selon une hiérarchisation dont les éléments essentiels sont adoptés pour le projet « *CORINE Land Cover* ».

Après les traitements préliminaires cités précédemment, on a dénombré 26 éléments à implantation zonale. On a représenté deux traits principaux qui sont : « la répartition spatiale » et « l'extension spatiale ». Il existe une infinité de figurés qui sont aptes à remplir entièrement ou uniformément les unités spatiales surfaciques : poncif, aplat de couleur ou grisé, trame... Les variables visuelles utilisées dans notre cas sont essentiellement, « la couleur » renforcée parfois par des hachures avec variation d' « orientation » comme c'est le cas "des zones agricoles hétérogènes" et "des zones agroforestières hétérogènes" et « la valeur » pour montrer la dynamique spatiale ou l'évolution du bâti :



2.2.3- La légende et les niveaux de cartographies de l'occupation-utilisation du sol :

2.2.3.1- La légende de la carte prototype :

La légende intervient en amont et en aval du travail. En amont, elle représente un biais pour concevoir et éclairer la problématique soulevée ; elle permet différentes approches d'un même phénomène. En aval, elle habille l'image cartographique ; elle permet alors une représentation graphique d'un message géographique (ZANIN C. & TREMELO M-L., 2003). La légende adoptée est inspirée du modèle « *CORINE Land Cover* » notamment en ce qui concerne le choix « des postes » (types d'occupation ou d'utilisation du sol) et leurs hiérarchisations et le choix des variables visuelles.

En se basant sur les définitions¹⁴ proposées par le guide technique du projet « *CORINE Land Cover* », la légende ne fait pas référence uniquement à l'occupation du sol, mais aussi à l'utilisation du sol. Dès lors, on est parfois confronté à des zones pouvant être classées de deux façons différentes, exemple : pour une carrière abandonnée en privilégiant l'utilisation du sol, si elle est envahie par des broussailles en privilégiant cette fois l'occupation du sol. Dans d'autres cas il est facile de classer les éléments de la carte, exemple : « les zones industrielles ou commerciales » peuvent être classées dans le concept « utilisation du sol », alors que « les forêts de feuillus » fait référence à « l'occupation du sol ». De ce fait, il aurait été préférable de ne pas différencier les concepts « d'occupation » et « d'utilisation » du sol dans la définition des thèmes de la légende.

2.2.3.2- Les niveaux de cartographies de l'occupation-utilisation du sol :

Comme c'est le cas pour les cartes réalisées par le projet « *CORINE Land Cover* ». La légende de la carte d'occupation-utilisation du sol du delta de Mejerda est structurée en trois niveaux hiérarchiques. En effet la création de nombreuses classes d'un quatrième ou d'un cinquième niveau nécessite plus de détails (éliminés déjà par la généralisation cartographique) et ralentit significativement la réalisation de la base de données.

- ***Cartographie du Niveau « 1 » de l'occupation du sol*** : La cartographie de l'occupation du sol selon le niveau "1" nous donne une lecture d'ensemble. En effet, ce niveau englobe 3 grandes classes exhaustives : "le milieu naturel", "l'occupation agricole du sol" et "l'habitat, activités et aménagement". La dominance de la dernière classe (nombre de « postes » ou éléments) reflète la forte pression exercée par l'homme sur l'espace deltaïque.
- ***Cartographie du Niveau « 2 » de l'occupation du sol*** : Les classes du niveau "1" s'éclatent en d'autres sous-classes de manière hiérarchique ce qui nous permet d'avoir une cartographie plus fine. On trouve par exemple pour le « milieu naturel » trois sous-classes :
 1. *Milieu naturel* :
 - 1.1. *Hydrographie continentale et lacustre.*
 - 1.2. *Forêt et milieux semi-naturels.*
 - 1.3. *Terrains nus.*

¹⁴ : L'occupation du sol est définie par la nature physique des objets. En ce sens, elle diffère de l'utilisation du sol qui fait référence à la fonction socio-économique des objets, à leur usage (définition proposée par le projet *CORINE Land Cover*).

- **Cartographie du Niveau « 3 » de l'occupation du sol** : Le niveau "3" nous donne une idée sur la répartition des différents modes d'occupation ou d'utilisation du sol. C'est le résultat de l'éclatement hiérarchique des classes du niveau "1" et niveau "2". Ainsi la légende se divise en 41 classes du niveau "3" (voir la carte de synthèse, après annexes). A titre d'exemple, la classe « forêt et milieux semi-naturels, se divise en d'autres sous-classes de niveau "3" :

1.2 Forêt et milieux semi-naturels.

1.2.1. Forêt de feuillus (Eucalyptus...).

1.2.2. Forêt de résineux (Pin Pignon...).

1.2.3. Forêt mixte

1.2.4. Garrigue arborée et non arborée.

1.2.5. Maquis arboré et non arboré.

1.2.6. Végétation ripicole.

Les logiciels de SIG (notamment Arc View®) ont des limites au niveau du choix des couleurs des trames ou même des symboles. Pour cela, on a exporté le prototype réalisé à partir des palettes Arc View® en utilisant le format « EPS » (Encapsulated PostScript New) vers le logiciel Illustrator®, afin d'affiner la carte et bénéficier d'un choix assez large au niveau des symboles.

Il est possible de mettre à jour périodiquement la base de données et de réaliser un atlas numérique pour le delta de Mejerda. Il est possible également de concevoir un prototype de carte animée. En effet, grâce aux évolutions technologiques énormes, notamment dans le domaine de l'informatique, la cartographie se trouve capable de nos jours de dépasser toutes les lacunes techniques de représentation animée.

Chapitre 2 :

**QUELQUES PROBLEMES SOULEVES
PAR L'OCCUPATION-UTILISATION
DU SOL DANS LE DELTA DE MEJERDA**

1- Les inondations : des évènements qui ont beaucoup changé la morphologie du delta.

La basse vallée de Mejerda et en particulier, le delta, a connu plusieurs crues exceptionnelles surtout pendant la deuxième moitié du XX^{ème} siècle (1931, 1954, 1958, 1970, 1973, 1976, 2003...). Ces évènements ont beaucoup changé la morphologie du delta. Ils représentent un élément principal dans l'analyse de l'évolution de l'occupation du sol.

Par définition, un risque réside dans la conjonction d'un aléa et des enjeux en présence (HENRY J.B., 2004). L'aléa inondation est très fort dans la plaine de la basse vallée de Mejerda. Les pluies représentent tout d'abord les causes favorables aux inondations. Elles se caractérisent par leur grande irrégularité dans le temps et dans l'espace. Elles ont souvent un caractère torrentiel et très violent (OUESLATI A., 1999). Les crues du delta sont en relation directe avec les pluies exceptionnelles ainsi qu'avec les débits de la haute et la moyenne vallée de Mejerda.

La topographie influence aussi le phénomène "inondations". En effet, les pentes faibles qui caractérisent la plaine de la basse vallée (voir carte des pentes, première partie), favorisent la stagnation des eaux sur des terrains imperméables (HABANE A., 2004). L'écoulement est fortement ralenti. Ainsi, les débordements sont fréquents et rapides.



Photo n°30 : Extension du bâti dans les secteurs inondables à Kalaât Landalous.
(HABANE A., 2004)

La nature des terrains constitue aussi un facteur déterminant. En effet, on rencontre dans le delta de Mejerda beaucoup de terrains qui sont caractérisés par des sols hydromorphes. Par ailleurs, dans les régions littorales très basses, se pose le problème du comportement des nappes, où il y a des difficultés de drainage des eaux et des phénomènes d'intrusion marines (OUESLATI A., 1999). A tout cela s'ajoutent les imprudences liées à des installations humaines dans des lieux inhabitables.

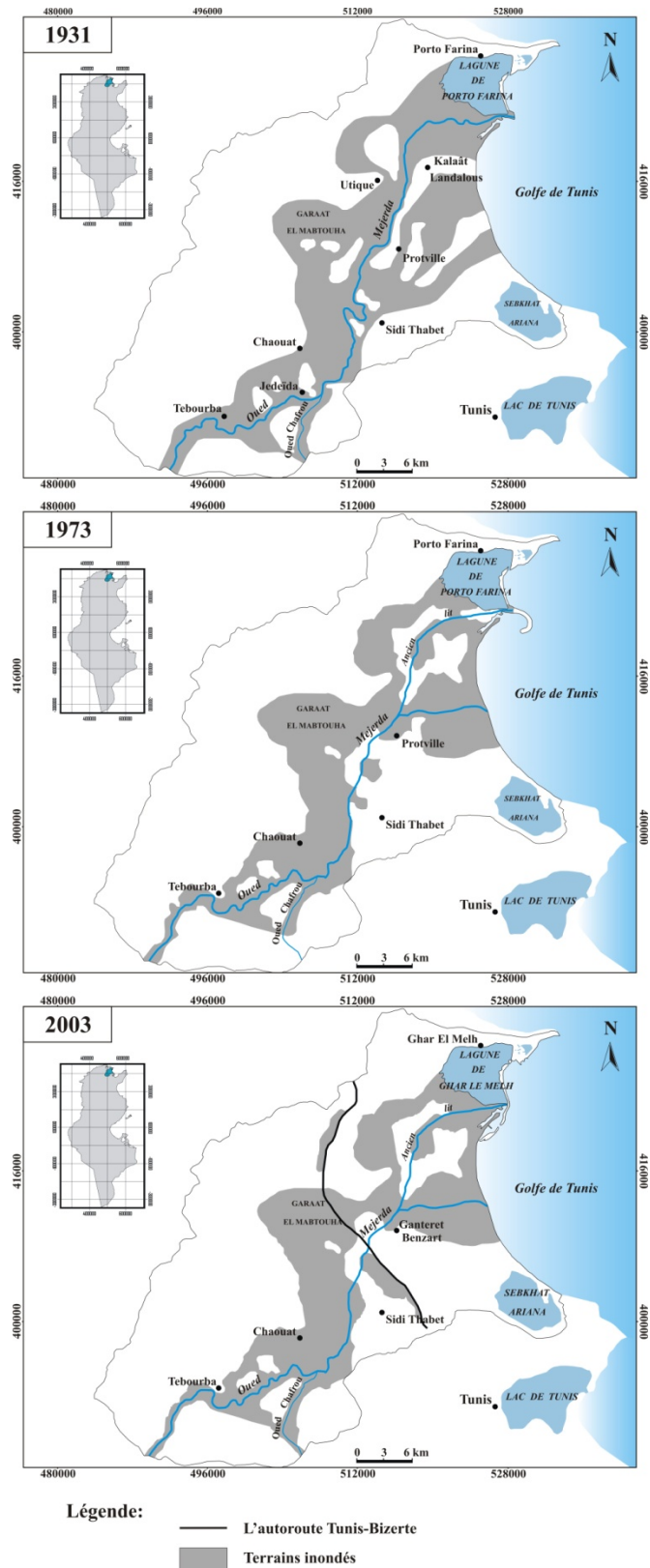
OUESLATI A. (1999), a beaucoup insisté sur le cas de Kalaât Landalous. En effet, l'extension de la ville s'est réalisée sur des terrains inondables qui comportent des bras morts qui peuvent être occupés par les eaux lors des épisodes des pluies intenses (photo n°30).

1.1- Caractéristiques des inondations de 1931, 1973 et 2003 :

Dans le présent travail on va insister surtout sur les inondations de 1931, 1973 et 2003. Leurs crues ont beaucoup influencé l'évolution de l'occupation du sol dans le delta de Mejerda. L'examen des cartes (ill. n°107) d'extensions des crues de 1931 et de 1973 réalisées par l'ORSTOM, ainsi que, celle de 2003 réalisée à partir des sorties de terrains au moment de l'évènement, des estimations des CRDA de Bizerte, Ariana et de la Manouba et de l'enquête personnelle de 2007, montre les caractéristiques suivantes :

- C'est à l'aval de Tebourba que l'extension de la crue a été la plus importante pour les trois dates, et ce, malgré les gros travaux d'endiguement et de recalibrage effectués à Jedeïda entre 1947 et 1957 (CLAUDE et al., 1977).
- C'est au niveau de la confluence d'oued Mejerda et d'oued Chafrou que l'extension de la crue devient assez remarquable avec des débordements importants.
- La comparaison de la carte de la grande crue de 1931, à celle de 1973, montre une régression du champ inondé en rive droite en 1973.
- La comparaison de la grande crue de 1973, à celle de 2003, montre une extension assez large du champ inondé de garaât El Mabtouha, à Sidi Thabet y compris le village de Cherfech.

On note aussi une régression du champ inondé à l'Est de l'autoroute de Zhana à garaât El Mabtouha pour la même date. Cela, est lié à l'effet de barrage provoqué par l'autoroute Tunis-Bizerte.



ill. n°107 : Estimation des terrains inondés par les crues de 1931, de 1973 et de 2003 (PASKOFF R., 1985 pour les crues de 1931 et de 1973 ; CLAUDE et al., 1977 pour les crues de 1973 ; sorties de terrain au moment de l'évènement ; des estimations des CRDA de Bizerte, Ariana et de la Manouba ; BEN SLAMA A., 2004 ; extraits d'images Spot/XS (avril 2003) –Google Earth © et enquête personnelle 2007 pour les crues de 2003).

1.2- L'ampleur des inondations de 1931, 1973 et 2003 :

Les dégâts causés par les inondations sont en fonction de leur extension. En outre, les inondations peuvent fertiliser les terrains non cultivés et ont alors un effet bénéfique. Elles peuvent aussi éroder des terrains de meilleure qualité et emporter les particules solides vers les dépressions fermées. La garaâ d'El Mabtouha a été recouverte d'une épaisseur de 40 cm de limons et d'argiles en mars 1973 (CLAUDE et al., 1977). Les inondations de 1973, ont dévasté les cultures, les conduites d'eau, les réseaux de drainage, les puits (photos n°31, n°32 et n°33)...



Photo n°31 : Agriculteur retirant les blocs de limons après la crue de mars 1973
(cliché LOYER, mai 1973, in HABANE A., 2004)

Plusieurs autres effets ont été signalés, on peut citer le sapement des berges des oueds, le changement de lit de l'oued Mejerda vers l'émissaire de Henchir Tobias. Plusieurs périmètres irrigués ont été envahis par les eaux.

En 2003, l'autoroute Tunis-Bizerte a influencé l'extension des crues par l'effet de barrage. D'une part, cet ouvrage a contribué à la protection des secteurs Est (par rapport à l'autoroute) tels que ; les périmètres irrigués de Henchir Tobias, Utique nouvelle et de Kalaât Landalous. D'autre part, il a favorisé la concentration des eaux de ruissellement à l'Ouest ce qui a provoqué une extension très remarquable des champs inondés. Par conséquent, les crues ont touché le village d'El Mabtouh, le village Bach Hamba et les

villages Cherfech jusqu'à Sabelet Ben Ammar. Les eaux de ruissellement ont envahi les terrains drainés qui sont déjà cultivés.

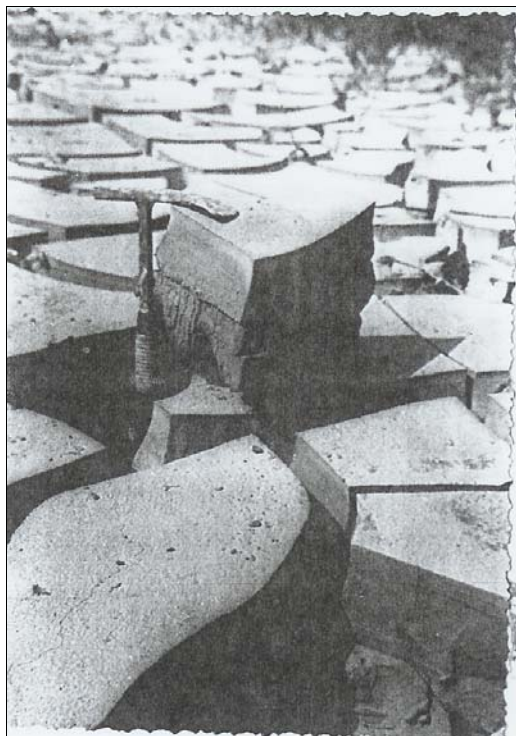


Photo n°32 : Couche de limons et d'argiles déposée lors de la crue de mars 1973 (cliché LOYER, mai 1973, in HABANE A., 2004)

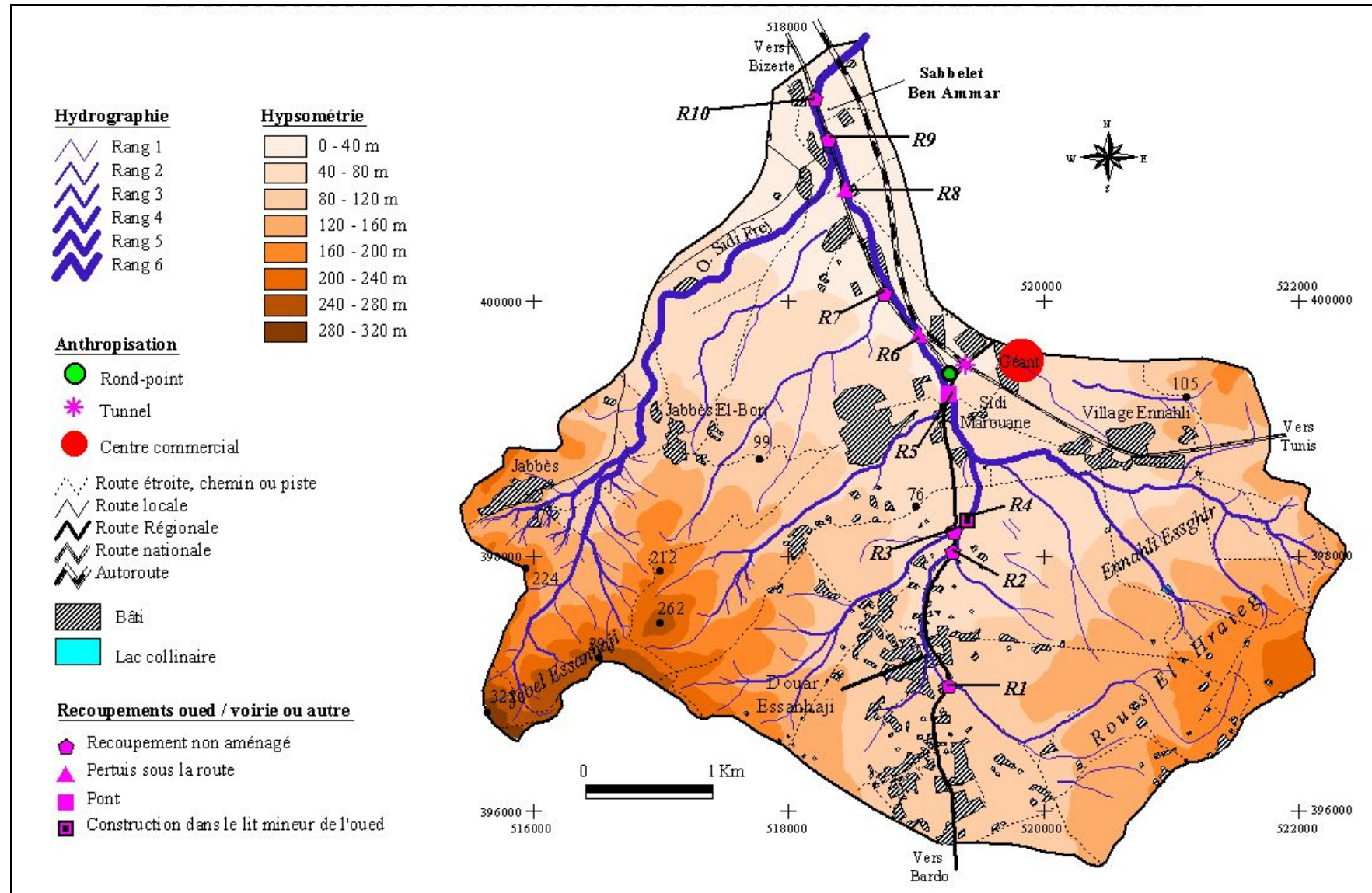


Photo n°33 : Puits colmaté par les alluvions de la crue de mars 1973 (cliché LOYER, mai 1973, in HABANE A., 2004)

1.3- Les inondations catastrophiques du 13 octobre 2007 dans le secteur de Sabelet Ben Ammar :

Le 13 octobre 2007 le secteur de Sabelet Ben Ammar fut touché par de graves inondations qui se sont soldées par un bilan très lourd qui s'est établi à 16 morts (cf. presse nationale de 14 octobre 2007 et les jours qui suivent). Les dégâts matériels sont assez considérables aussi (des voitures endommagées, des fermes agricoles dévastées...etc.), (FEHRI N. et al., 2009).

Ces événements meurtriers sont dus essentiellement à des précipitations exceptionnellement intenses qui se sont abattues sur un bassin versant aux caractéristiques morphométriques et lithologiques favorables à la concentration rapide des écoulements (FEHRI N. et al., 2009). L'intervention anthropique, a cumulé les imprudences et ce par des constructions et des obstacles de plus en plus nombreux sur les cours d'eau (ill. n°108).



ill. n°108 : Rôle des aménagements anthropiques dans l'aggravation des inondations du 13 octobre 2007 dans le secteur de Sabelet Ben Ammar (FEHRI N. et al., 2009)

Le bâti et les voies de circulation ont rétréci les sections des oueds. Les ouvrages hydrauliques qui sont réalisés (canalisations, pertuis, etc.), sont parfois sous-dimensionnés et souvent mal entretenus, par conséquent, ils ont été obstrués par les déchets.

En conséquence à tout cela, ce sont des débordements, des effets d'embâcle – débâcle et des phénomènes de chasse d'eau qui peuvent être très violents et susceptibles de se produire au moment des crues (FEHRI N. et al., 2009).

2- Le risque de la salinisation et l'impact des rejets sur l'occupation du sol :

2.1- Le risque de la salinisation :

Plusieurs études ont été menées dans le delta de Mejerda pour connaître l'évolution à court et à long terme des conditions agronomiques de base sous l'influence de la salinité des eaux d'irrigation. Le projet hydro-agricole de Kalaât Landalous-Ras Djebel représente un exemple pour l'étude de la qualité des eaux. En effet, il est important de cerner la sensibilité au risque de salinisation des sols, les modifications des assolements avec éventuellement la disparition des cultures trop sensibles au sel, l'évolution du rendement des cultures avec des eaux plus ou moins chargées en sels.

L'idée de base de cette étude est de mesurer l'impact de 1 à 2 g/l de salinité supplémentaire des eaux sur la qualité des sols et des rendements des cultures. L'évaluation par comparaison se fait essentiellement en terme de risque de salinisation entre les périmètres desservis par le canal de l'Ariana où les eaux avaient une salinité comprise entre 1.5 et 2 g/l et les périmètres liés au complexe de Tobias où les eaux avaient une salinité comprise entre 2.5 et 3.5 g/l.

Le risque de salinisation des sols est obtenu par la combinaison des facteurs « niveau » et « salure » de la nappe. Cependant, le risque est d'autant plus grand que la nappe est proche du niveau du sol et que la salure de cette nappe est élevée. Pour chaque périmètre irrigué et pour toutes les périodes d'observations (1993 - 1998), les superficies moyennes (en %) sont réparties sur quatre classes de risque de salinisation (tableau n°17), (M.A. & A.H.T, 1998).

Les périmètres d'Utique et de Cherfech présentent les plus grands pourcentages des superficies relatives à la classe « risque fort ». Dans la classe « risque modéré », les périmètres d'Utique, Henchir Tobias et Cherfech représentent les pourcentages les plus élevés par rapport aux autres périmètres. Cependant, il est à noter que plus de 75 % des superficies totales des

périmètres de Bejaoua, Chaouât, Jedeïda et Sidi Thabet appartiennent à la classe « pas de risque ».

Tableau n°17 : Répartition des surfaces moyennes de quelques périmètres irrigués du delta de Mejerda (%) dans les 4 classes de risque de salinisation

Périmètres	Risque fort	Risque modéré	Risque faible	Pas de risque
Kalaât Landalous	1.1	5.1	53.7	40.1
Henchir Tobias	2.1	18.8	53	26.1
Bejaoua	0.0	0.0	4.6	95.4
Chaouat	0.0	0.0	11.1	88.9
Cherfech	10.8	7.7	35.1	46.4
Jedeïda	0.1	1.1	21.4	77.7
Hammed	1.1	5.1	53.7	40.1
El Hbibia	0.5	2.4	28.8	68.3
Lezdine	0.7	4.5	55.8	39
Sidi Thabet	0.0	0.1	3.2	96.7
Utique	26.7	46.5	24	2.8

Source : M.A. & A.H.T.

(1998)

Au sein d'un même périmètre, la distribution des superficies partielles sur les quatre classes de risque sur plusieurs années montre des différences notables (M.A. & A.H.T, 1998). La distribution sur les quatre classes de risque est fortement liée aux conditions de pluviométrie pour la période d'observation. A titre d'exemple, dans le périmètre de Kalaât Landalous au printemps et en automne 1994, les superficies se classent respectivement avec 9.2 % et 12 % de la superficie totale dans la classe « risque modéré ». Cependant, cette classe n'englobe que 1 % de la superficie totale au cours de l'année pluvieuse de 1996 (M.A. & A.H.T, 1998).

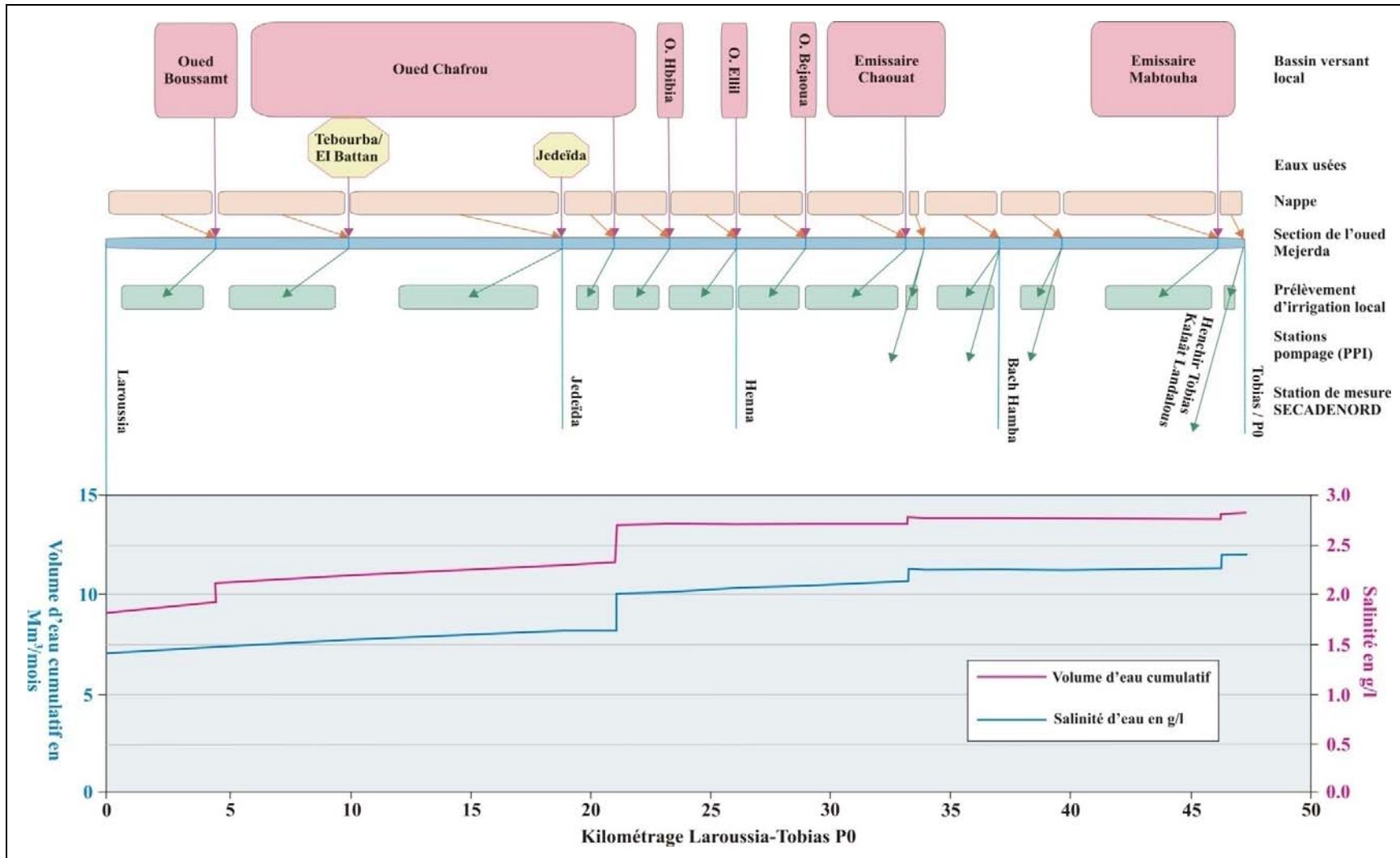
Par ailleurs, la forte salinité des nappes est déterminante dans le périmètre de Henchir Tobias, les valeurs maximales de risque calculées correspondent à la classe « risque modéré »

dans 44.5 % (septembre 1995). Pour cette période, la conductivité électrique des eaux souterraines est supérieure à 25 dS/m dans 38.5 % de la superficie totale (M.A. & A.H.T, 1998).

Les données de profondeur de la salinité des nappes sont déterminantes dans la caractérisation du risque de salinisation sur les périmètres aval du delta, à savoir Henchir Tobias, Utique et Kalaât Landalous. La proximité de la mer, explique les conditions difficiles de drainage. Cette supposition est confirmée par les études de suivi du drainage réalisées par la SECADENORD (1996) sur les périmètres de Kalaât Landalous. En Juin 1995, une salinité de 40 g/l a été mesurée dans le système de drainage, au niveau de la station de pompage P4 (à l'Est de la ville de Kalaât Landalous). Le tonnage en sel évacué pour l'année 1995 a été évalué à 28/t/ha/an. Le système de drainage a évacué sur l'ensemble du périmètre des eaux souterraines fortement salées. Pour un volume d'eau d'irrigation de 1080 m³/ha le volume d'eau drainé est de 1530 m³/ha, volumes très important est ne correspondant pas aux normes classiques de drainage des eaux d'irrigation (20 à 30 %) (M.A. & A.H.T, 1998).

Il est à remarquer que le risque de salinisation des périmètres du delta de Mejerda croit de l'amont vers l'aval (ill. 109) est qu'il est en relation avec la salinité propre des nappes phréatiques locales et des situations topographiques proches de la mer. Les nappes sont de plus en plus salées à partir de l'émissaire de Chaouât avec l'oued Mejerda. Cette situation de risque exige une attention particulière sur l'entretien des réseaux de drainage et de la conduite de l'irrigation afin de ne pas affecter les rendements des cultures pratiquées sur les zones à risque. En effet, à toute élévation de la salinité, correspondra une baisse des rendements des cultures.

Selon la FAO (1985) (in M.A. & A.H.T, 1998), les teneurs en sels de 4 dS/m dans la zone racinaire conduisent à de fortes baisses des récoltes. Les déficits peuvent atteindre 30 % à 50 % pour les cultures maraichères d'été et environ 20 % pour les cultures fourragères et 40 % pour les agrumes qui sont particulièrement sensibles.



ill. n°109 : Schéma du modèle salinité : Valeurs moyennes octobre 1991-septembre 1997 (M.A. & A.H.T, 1998).

Le tableau suivant donne les durées nécessaires à l'atteinte d'un seuil critique des sols de 4 dS/m en fonction des différents volumes d'irrigation et de salinité des eaux,

Tableau n°18 : Durée d'irrigation (en années) pour atteindre le seuil critique de teneur en sel de 4 dS/m

Salinité d'eau D'irrigation	Volumes appliqués			
	1700 m ³ /ha	2500 m ³ /ha	3000 m ³ /ha	4500 m ³ /ha
2g/l	15	-	-	-
2.5g/l	7	6	15	-
3g/l	5	2	3	-
3.5g/l	2	1	1	1

Source : M.A. & A.H.T, 1998.

Le seuil critique de teneur en sel de 4 dS/m peut être atteint au bout de 15 années d'application d'un volume d'eau de 1700 m³/ha avec une salinité de 2 g/l. Si la salinité de l'eau d'irrigation est de 2.5 g/l, la teneur en sel critique serait atteinte au bout de 7 ans. Pour une application d'un volume d'eau d'irrigation de 3000 m³/ha à une salinité moyenne de 3 g/l, la valeur critique de teneur en sel du sol serait dépassée au bout de 3 ans. Avec l'application d'un volume de 4500 m³/ha et des salinités de 2, 2.5 et 3 g/l, la valeur critique de teneur en sel ne sera jamais atteinte. C'est uniquement avec la salinité d'eau d'irrigation de 3.5 g/l que cette situation est atteinte dès la première année d'irrigation (M.A. & A.H.T, 1998).

Les conséquences de la salinité sont, à court terme, la baisse des rendements des cultures et la dégradation du sol. Celle-ci concerne le passage à une structure compacte du sol et réduit le pouvoir d'infiltration. Cela entraîne un danger d'érosion et une perte en sol fertile. Les niveaux de la salinité des eaux d'irrigation varient entre 2.4 g/l et 3.3 g/l. Ces teneurs représentent aujourd'hui un danger considérable pour l'utilisation durable des périmètres irrigués du delta de Mejerda, vis-à-vis d'une salinisation graduelle au cours des 5 à 10 ans à venir. Sans mesures correctives énergiques, l'agriculture irriguée rentable disparaîtra à moyen

terme. Actuellement, les cultures des agrumes est en danger et certaines cultures maraîchères d'été comme les melons, pastèques et tomates régressent.

Un « *programme de sauvegarde* » a été lancé depuis 1999, il concerne une collaboration entre les CRDA de Bizerte de l'Ariana et de la Manouba surtout au niveau de la vulgarisation agricole. Il vise à mettre une tarification de l'eau en fonction de sa qualité. En effet, il sera difficile de convaincre les agriculteurs d'appliquer des quantités d'eau plus importantes à des coûts élevés sans une qualité assurée et acceptable. Le problème principal réside dans les faibles quantités des eaux d'irrigation appliquées par hectare, qui sont insuffisantes pour assurer un lessivage adéquat des sols.

Dans le contexte actuel du coût de l'eau, les agriculteurs par simple réflexe financier vont restreindre les volumes des irrigations au strict nécessaire. Cette nouvelle attitude est très nette, sur les périmètres de Borj Touil, de Cherfech et de Henchir Tobias. Cependant, durant les 5 dernières années les consommations sont passées de 3500-4000 m³/ha à 2000-2500m³/ha (CRDA de l'Ariana, 2007). La qualité des sols va se dégrader lentement et les cultures maraîchères seront difficilement praticables au bout d'une dizaine d'années.

A fin de se protéger de ce risque le « *programme de sauvegarde* » insiste sur le fait qu'il est plus judicieux de fournir une eau de qualité sans « dangerosité » à l'agriculteur que d'attendre de lui une pratique rigoureuse et scientifique de l'irrigation, compte tenu de son niveau culturel. En effet, le niveau de risque s'amenuise rapidement lorsque la salinité des eaux est inférieure à 2 g/l.

2.2- Les rejets industriels et leurs impacts sur l'occupation du sol :

L'évolution des activités humaines dans le delta de Mejerda a engendré l'apparition de beaucoup de problèmes parmi lesquels ceux qui touchent directement l'environnement et l'occupation du sol et qui se matérialisent par tous les déchets rejetés. Les transports et [l'habitat](#) étant les sources principales avant même l'industrie.

Dans cette étude, on s'est intéressé beaucoup plus aux rejets industriels et particulièrement ceux provenant de la zone d'Utique (première source de pollution et de nuisance pour les écosystèmes et pour les pratiques agricoles dans le delta de Mejerda). En effet, sa situation environnementale est dégradée, le réseau d'évacuation d'eau de l'usage domestique est toujours bouché provoquant le débordement des eaux usées ou leur stagnation dans la route publique (photo n°34), ce qui engendre le dégagement de mauvaises odeurs dans la zone.



Photo n°34 : Ampleur des eaux usées stagnantes dans la zone industrielle d'Utique
(BOUCHOUICHA S., 2004)

L'évacuation des eaux industrielles et des eaux sanitaires provenant des sociétés industrielles se fait dans l'oued qui se trouve à proximité de la zone (oued Tlil) qui les évacue directement dans le lac de Ghar el Melh. Dans la plupart des cas (tableau n°19) les valeurs des paramètres polluants des rejets liquides dépassent considérablement les normes en vigueur engendrant un impact sur la qualité "eau-sol" lors de leur rejet.

Tableau n°19 : Composition du rejet liquide d'une tannerie (zone industrielle d'Utique).

Paramètres	Unités	Valeur	Norme
DBO ₅	mg/l	600-900	30
DCO	mg/l	2500-2700	90
SULFURES	mg/l	60-80	3
CHLORURES	mg/l	50-80	600
pH	-	8-10	6,5-8,5
MES	mg/l	500-1500	30
CHROMES	mg/l	50-80	2

Source : BOUCHOUICHA S., 2004

Plusieurs autres substances peuvent également occasionner des pollutions ou des nuisances pour les écosystèmes du delta de Mejerda :

- Les eaux résiduaires des agglomérations enrichies en azote, détergents libèrent du phosphore, matières organiques, et microorganismes dont certains sont pathogènes (ANPE, 2006),
- Les eaux pluviales en zones urbanisées qui se chargent en impuretés au contact de l'air (fumées industrielles) et en ruisselant sur les toits et les chaussées (carburants, résidus de pneus, etc.)
- Les eaux usées industrielles contenant une variété de produits toxiques, solvants, métaux lourds, micropolluants organiques, hydrocarbures, etc. Ils agissent comme polluants de façon plus directe (ANPE, 2006).
- Les décharges (voir carte de synthèse, après annexes).
- Les dégagements gazeux qui proviennent des unités industrielles équipées par des chaudières fonctionnant par le fuel-oil et qui dégagent des fumées noires (ANPE, 2006).

La pollution engendrée par les rejets des différentes activités industrielles, les décharges, les eaux usées urbaines sans aucun traitement préalable, a un impact direct sur les modes de recouvrement et d'exploitation des sols. De plus, la qualité de ces derniers peut être dégradée par l'emploi d'engrais et de produits phytosanitaires.

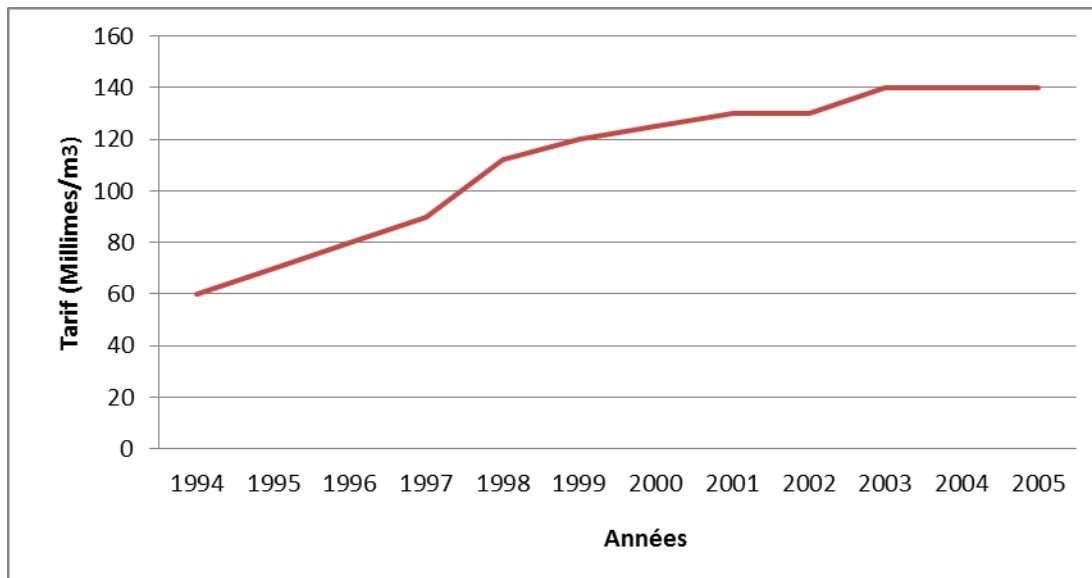
3- L'augmentation du tarif de l'eau et les principaux problèmes du réseau d'irrigation :

3.1- L'augmentation du tarif de l'eau :

Dans le cadre du Programme d'Ajustement Structurel Agricole (PASA) le gouvernement Tunisien a mis en application à partir de 1991 une politique d'augmentation annuelle des tarifs de l'eau d'irrigation, dans le but primordial de permettre à terme aux organismes gestionnaires le recouvrement intégral des coûts de fonctionnement et d'entretien lié à la production et distribution de l'eau d'irrigation. A cet effet, il avait été convenu d'augmenter les tarifs de l'eau de 15 % par an en termes nominaux et 9 % en termes réelles (CRDA de Manouba & BICHE, 2006).

La mise en œuvre de cette politique d'augmentation annuelle des tarifs de l'eau d'irrigation a permis d'accroître le prix moyen de l'eau au niveau national de 26 millimes/m³

en 1990 à 110 millimes /m³ en 2003 et d'améliorer de manière significative les taux de recouvrement des coûts de fonctionnement et d'entretien des périmètres publics irrigués. Le graphique suivant donne une idée générale sur l'évolution des tarifs depuis 1994 pour les périmètres irrigués qui sont approvisionnés par les eaux du Nord.



ill. n°110 : Evolution du tarif de l'eau d'irrigation des périmètres publics approvisionnés par les eaux du Nord (CRDA de Manouba & BICHE, 2006).

La régression de la superficie de cultures irriguées est expliquée par la tarification jugée toujours élevée par les agriculteurs. A titre d'exemple l'endettement total des agriculteurs lié au non paiement des redevances d'eau envers le CRDA de la Manouba s'élève à 1.989.000 dinars en 2005 (CRDA de Manouba & BICHE, 2006). L'endettement moyen est de 90 dinars par ha équipé et 153 dinars par ha exploité. Le recouvrement des coûts n'est pas complet malgré l'augmentation du tarif et il est de l'ordre de 68 % en 2005 engendrant un déficit budgétaire du CRDA de l'ordre de 739.000 dinars (CRDA de Manouba & BICHE, 2006).

3.2- Les principaux problèmes du réseau des périmètres irrigués du delta :

La visite des périmètres et les différentes discussions menées avec les responsables de l'exploitation et de la maintenance de PPI, ainsi que la consultation des rapports annuels publiés par les services des CRDA (Manouba, Ariana et Bizerte), nous ont permis de dégager les principaux problèmes d'ordre hydraulique et organisationnel :

- ***La capacité de transit des canaux***, ne correspond plus aux débits de dimensionnement suite aux affaissements et l'eau transportée déborde à plusieurs endroits des parois des canaux.
- ***Le remplacement des canaux défectueux***, pose un sérieux problème aux gestionnaires suite à la fermeture de l'usine de fabrication. La réhabilitation de ces canaux se fait par le rehaussement des parois des canaux affaissés.
- ***L'entretien du grand canal***, et ses deux branches Nord et Sud se fait par les moyens du CRDA et qui sont insuffisants vu l'absence des machines appropriées pour l'entretien de ce canal dont les dimensions sont très grandes. L'eau lâchée par le barrage est relativement chargée entraînant beaucoup de dépôts dans les canaux et réduisent leur débitance. La prolifération des algues dans le canal nuit aux vanneries de régulation des eaux et peut même les bloquer (CRDA de Manouba & BICHE, 2006).
- ***La régulation des eaux du canal***, est non fiable suite au mauvais fonctionnement de la vannerie de régulation entraînant les difficultés de distribution et de gestion de l'eau.
- ***La vétusté du réseau***, associée à des difficultés techniques de conception du réseau et au manque des moyens suffisants du CRDA pour parvenir à faire la maintenance convenable, engendre beaucoup de pannes au niveau des principaux ouvrages de transfert de débit vers les secteurs. La fréquence des pannes est de trois fois par mois en période de forte exploitation.
- ***La grande taille du réseau du périmètre irrigué***, pose un sérieux problème pour l'alimentation en eau des exploitations éloignées du réseau principal surtout en période de faible consommation correspondant à l'irrigation de l'artichaut. D'une manière générale, les exploitations les plus éloignées du réseau principal sont les plus lésées du point de vue alimentation en eau suite à la défaillance du réseau et aux prélèvements illicites dans leur amont. Les CRDA sont obligés de délivrer un débit beaucoup plus élevé pour que la main d'eau demandée arrive entièrement à l'exploitation. Le réseau d'irrigation est sujet à des vols d'eau continus malgré la police d'eau mobilisée par les CRDA. Ce vol fréquent commodity par le système de transport en canaux à ciel ouvert se fait soit par siphonage, soit par pompage (CRDA de Manouba & BICHE, 2006).

- ***Le système d'irrigation gravitaire***, consomme beaucoup de main d'œuvre et provoque des pertes d'eau importantes à la parcelle. Profitant des avantages accordés par la stratégie en matière d'économie d'eau, beaucoup d'agriculteurs spécifiquement les arboriculteurs ont équipé leurs exploitations par un système d'irrigation localisée. D'autres modes d'économie d'eau prennent petit à petit la place de l'irrigation gravitaire tel que :
 - l'aspersion qui couvre une superficie importante notamment à Borj Toumi.
 - et l'irrigation gravitaire améliorée qui couvre une superficie de l'ordre de 7500 ha dans le gouvernorat de la Manouba (CRDA de Manouba & BICHE, 2006).
- ***L'envahissement du réseau et du périmètre irrigué par l'urbanisation***, est très remarqué au niveau des secteurs de Tebourba, Jedeïda, Sidi Thabet...là où des constructions ont été bâties sur les conduites (siphons ou tunnels) et des canaux sont devenus parfois une propriété privée en les insérant dans l'espace maison.
- ***Le réseau de drainage par des conduites enterrées***, équipant les secteurs de Hbibia sud et Mansoura n'a jamais été entretenu et de ce fait n'est pas efficace et des signes d'hydromorphie sont apparents à l'œil nue.
- ***Le réseau de drainage à ciel ouvert***. Malgré l'effort consenti par les CRDA pour son entretien, il est envahi par les roseaux et dans la plupart des cas il n'assure pas ses fonctions. Dans quelques endroits, les fossés de drainage remplis d'eau sont devenus une source d'eau d'irrigation pour quelques riverains (CRDA de Manouba & BICHE, 2006).
- ***L'absence d'un moyen de mesure***, des consommations d'eau en amont et en aval au niveau du PPI du delta de Mejerda ne permet pas ni d'évaluer les pertes d'eau ni de déterminer l'origine de leur mauvaise gestion.

4. Les problèmes d'ordre foncier et le conflit d'usage du sol :

La question de l'accès à la terre et à ses ressources a longtemps été prise en considération en second lieu dans les politiques de développement rural et urbain. Elle est aujourd'hui reconnue comme une problématique centrale, porteuse d'importants enjeux à la fois politiques, économiques, sociaux et environnementaux. La mobilité foncière, le morcellement des propriétés foncières, le conflit d'usage du sol sont des thèmes qui méritent une attention particulière.

4. 1- La mobilité foncière :

Avec l'absence d'une documentation fiable, on a trouvé beaucoup de difficultés à étudier ce thème. Toutefois, il semble que le statut des terres ait connu trois phases différentes :

➤ ***La période précoloniale :***

Jusqu'à l'arrivée des Andalous, le sol avait un statut imprécis. « L'acquisition des terres dépendait tout simplement de la volonté de les exploiter et la part de quiconque, ayant la possibilité et les moyens de les défricher » (BEN SALEM M., 1996). A titre d'exemple, les principaux henchirs qui s'étendaient de Bou-chater jusqu'à Tebourba (qui étaient à l'époque ceux de Methoua, de Sidi Othman et de Bordj Hadida), et qui ont été exploités par des Trabelsia appartenant pour la plupart à des familles qui habitaient Tunis ou aux établissements religieux de cette ville (PELLISSIER E., 1853).

Plusieurs familles d'origine algérienne (Berrahal, Hajjem, Ouled Ouâdhour...) se sont installées sur les versants de Jebel Kchabta et ont acquis des propriétés dites "*habous*" ou "*waqfs*" ou encore "*biens de mains mortes*" (BEN SALEM M., 1996).

➤ ***La période coloniale :***

Durant la période coloniale le défrichement et la mise en valeur du sol se sont étendus et modernisés. En effet, les grands domaines marécageux (domaines d'Utique et d'El Mabtouha) appartenaient à l'époque à des colons. De même, Il est possible à travers les cartes topographiques (symbole ferme) et par les vestiges encore présents sur terrain de reconnaître les différents ex-propriétés coloniales

➤ ***Depuis l'indépendance :***

En 1956, tous les "*habous publics*" sont devenus un domaine de l'Etat. De même, en 1957, les « habous privés » furent à leurs tours dissouts. Ces événements ont déclenché par la suite, le transfert du statut "*habous*" au statut "bien privé" et ont eu une influence directe sur l'appropriation de la terre par les citoyens dans le delta de Mejerda. En effet, ces derniers ont substitué les colons par le procédé d'achat direct chez le privé-étranger ou par le biais de l'Office des Terres Domaniales (OTD).

Du secteur de Sabelet Ben Ammar, jusqu'à Borj Touil et jusqu'aux villages Cherfech, on trouve la famille "Ben Ammar". Dans le secteur de Cité El Manar et Aïn Ghlal, on trouve la famille "Wassila Bourguiba". Dans le secteur de Aousja, on trouve encore la famille "Ben

Ammar", accompagnée de celles d'"El Annabi, Lazzem, Azzouaoui... Dans le secteur de Bèjou, la terre avait un statut imprécis « probablement *habous* beylical concédé aux familles "Ben Ayed" et "Chiboub" (BEN SALEM M., 1996).

Lors de l'application de la réforme agraire par l'O.M.V.V.M, plusieurs lotissements ont été confiés à des anciens occupants, dont la situation est protégée par la loi de 1958 qui leur accorde un droit d'appropriation sous certaines conditions avec des prix symboliques. Toutefois, jusqu'à une date tardive, plusieurs d'entre eux n'ont pas réglé leurs situations.

Le premier problème foncier réside dans le fait que, malgré l'effort fait par l'État en matière d'apurement foncier, le statut juridique d'une partie importante des tenures foncières dans le delta de Mejerda est encore flou (cas des terres collectives). Ce régime foncier (terre en indivision), bloque relativement l'intensification du travail ainsi que la production agricole.

La mobilité foncière dans le delta de Mejerda est soumise à l'héritage et aux partages successoraux. Ces deux processus ont abouti au "morcellement" des propriétés foncières.

4. 2- Le morcellement des propriétés foncières :

La loi agraire de 1958 a limité la propriété des terres irrigables à 50 ha. Par contre, toute parcelle inférieure à 2 hectares est déclarée indivisible. En plus, les terres qui sont «*indivises*» ou qui appartiennent à une société ont été considérées comme appartenant à un propriétaire unique. Ces impératifs ont pour but d'éviter l'émiettement excessif de la propriété.

L'enquête socioéconomique réalisée dans le delta de Mejerda en 2007, montre que 82,04 % des exploitations (des enquêtés) ont des superficies qui ne dépassent pas 5 ha (annexe II). Elles se multiplient sur les piedmonts et les zones collinaires (Aousja, Bèjou, Ghar El Melh...) et elles sont considérées comme un point d'attache familial. Celles qui ont des superficies plus de 5 ha représentent 17.96 % et dominent les plaines marécageuses et les henchirs (Sidi Thabet, Cherfech 1 et Cherfech 2...).

La loi agraire et les différentes législations n'arrivent à bloquer le phénomène de "morcellement", que partiellement. Car il est en rapport avec d'autres processus notamment l'héritage. En effet, la loi de partages successoraux qui se réfère à la jurisprudence arabomusulmane n'exclut aucun membre de la famille de l'héritage des parents proches (CHAIZE-AUCLAIR M., 1996) et l'application de cette loi est presque systématique en Tunisie. Par conséquent, ce régime foncier (le partage successoral du patrimoine entre les héritiers), entraîne parfois un bouleversement dans la trajectoire de l'exploitation familiale. Dans ce sens, BARTHEZ A. (1982) (in SETHOM H., 1992) note que dans la tradition paysanne du

partage égalitariste en nature, la succession pourrait aboutir au démantèlement de l'exploitation et même à sa destruction, en tant qu'unité économique de production. Cette problématique a fait l'objet d'une recherche contemporaine assurée par BEN SOLTANE I.

Les problèmes de morcellement et d'indivision dans le delta de Mejerda ne sont pas seulement un fait de partages successoraux ou de dynamiques agraires. Ils résultent parfois des mutations foncières dont les causes sont externes, c'est le cas des micro-exploitations engendrées par l'autoroute Tunis-Bizerte. En effet, la traversée d'exploitations de taille et de valeur agronomique suffisantes, a créé deux exploitations de taille plus réduite, mais encore parfaitement viables. En revanche, celles de taille et de valeur à peine suffisante ont conduit à des parcelles résiduelles non viables et qui sont complètement marginalisées (SAMAALI H., 2004).

4. 3- Le conflit d'usage du sol dans le delta de Mejerda :

L'évolution des systèmes de production vers une plus grande intensification, la marginalisation des systèmes de production traditionnels, qui sont allés de pair avec une diminution de l'activité agricole de la petite paysannerie, ont transformé les fonctions de l'espace rural (SETHOM H., 1992). En effet, la faiblesse du revenu agricole notamment dans les garaâs et les zones marécageuses, l'incompatibilité des systèmes agricoles traditionnels à faible rendement avec l'économie de marché, ont des conséquences directes sur l'espace rural deltaïque. Ce dernier, se distingue progressivement de l'espace agricole. Actuellement, il est confronté à de nouvelles opportunités aux références multiples : apparition de la notion de "mondialisation" et de "métropolisation", espaces naturels aménagés et ouvert pour l'investissement local ou international, espaces protégés, espaces résidentiels...

L'agriculture, la société et l'espace ruraux ne suivent pas, aujourd'hui, des parcours similaires, alors qu'ils coexistent dans les mêmes limites géographiques... « différents personnages agissent dans ce nouvel espace rural : les habitants et les sociétés traditionnelles du monde rural (qui en constituent encore le grand nombre), la propriété foncière, les capitaux et les intérêts qui viennent des villes, les acteurs publics locaux et nationaux... » (CHERIF A., 1999).

Face à l'instabilité des revenus agricoles et le développement de l'infrastructure routière, l'espace rural du delta est soumis aujourd'hui à un conflit d'usage du sol. Que ce soit par les promoteurs immobiliers, par des investisseurs internes ou externes (grand acteurs)...,

la demande de terre se diversifie de façon anarchique et avec un rythme très accéléré. Les exemples qui suivent relatent bien la situation :

- **Des lotissements résidentiels à Raoued** : Plusieurs promoteurs immobiliers sont attirés par les opportunités d'un marché foncier facilement accessible qu'ailleurs pour aménager des îlots résidentiels (photo n°35).



Photo n°35 : Les lotissements résidentiels "Cité Thameur" et "El Madina El Jadida" à Raoued.

- **Les "deux géants" à Sabelet Ben Ammar** : Par des investissements qui sont le fruit d'un partenariat tuniso-français, l'hypermarché "Géant" s'est installé depuis septembre 2005 sur un domaine de viticulture (plus de 5 ha), précisément sur la sortie nord de Tunis vers Bizerte. Profitant ainsi par la desserte de l'autoroute Tunis- Bizerte et par une opportunité foncière à coût accessible par rapport au centre ville. Un deuxième géant s'est installé également dans la zone commerciale (sur environ 5 ha). A bâtisse imposante en jaune et blanc, "Bricorama" (photo n°36) représente la première grande surface spécialisée dans le bricolage.



Photo n°36 : Bricorama-Tunisie : Chantier de finalisation.

- **Le projet de "Bled El Ward" sur la sebkha de l'Ariana** : Le projet est annoncé par " Al Maabar International Investments Company". Il sera implanté sur les rives nord de la capitale, de sebkhat Ariana jusqu'aux côtes de Raoued (photo n°37). Le projet s'étend sur 5000 ha et les investissements consacrés sont estimés à 10 milliards de dollars (www.babnet.net/rttdetail-12621.asp).

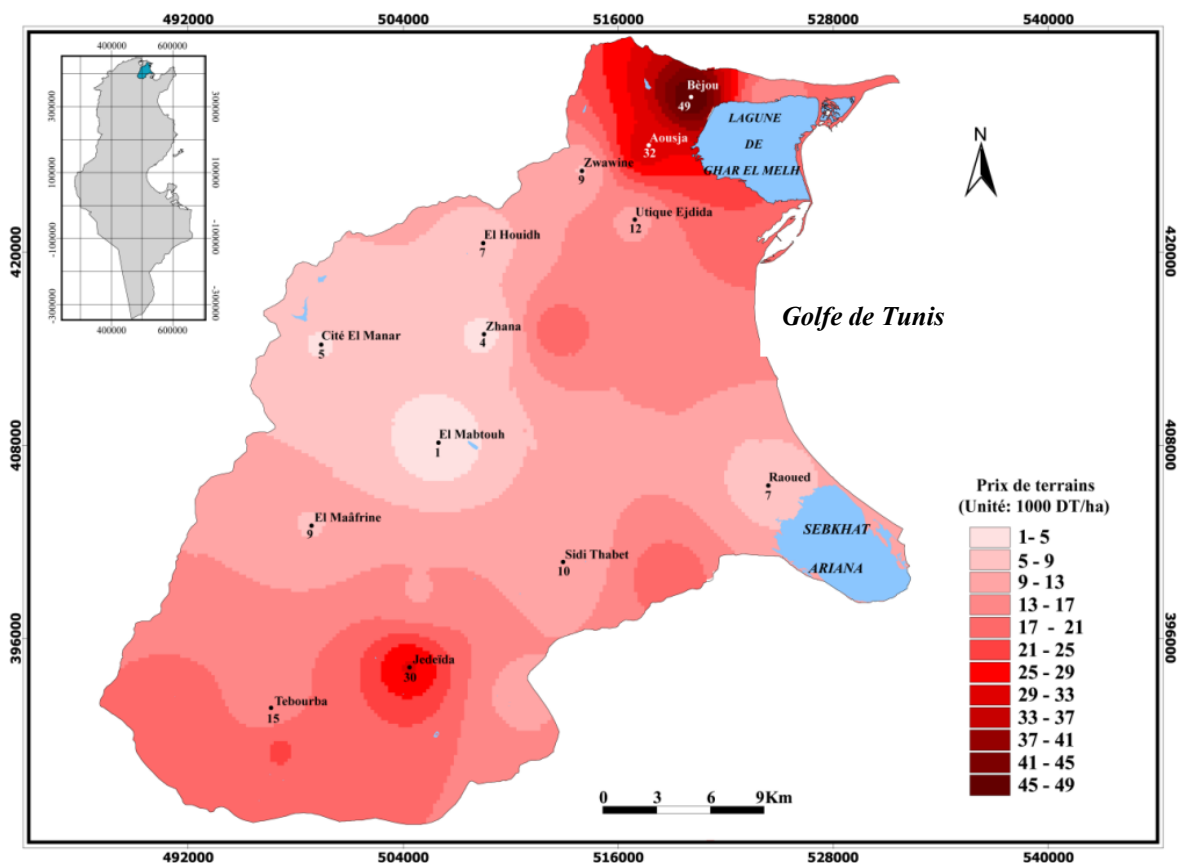


Photo n°37 : Maquette représentative du projet "Bled El Ward" sur la sebkha de l'Ariana (www.babnet.net/rttdetail-12621.asp)

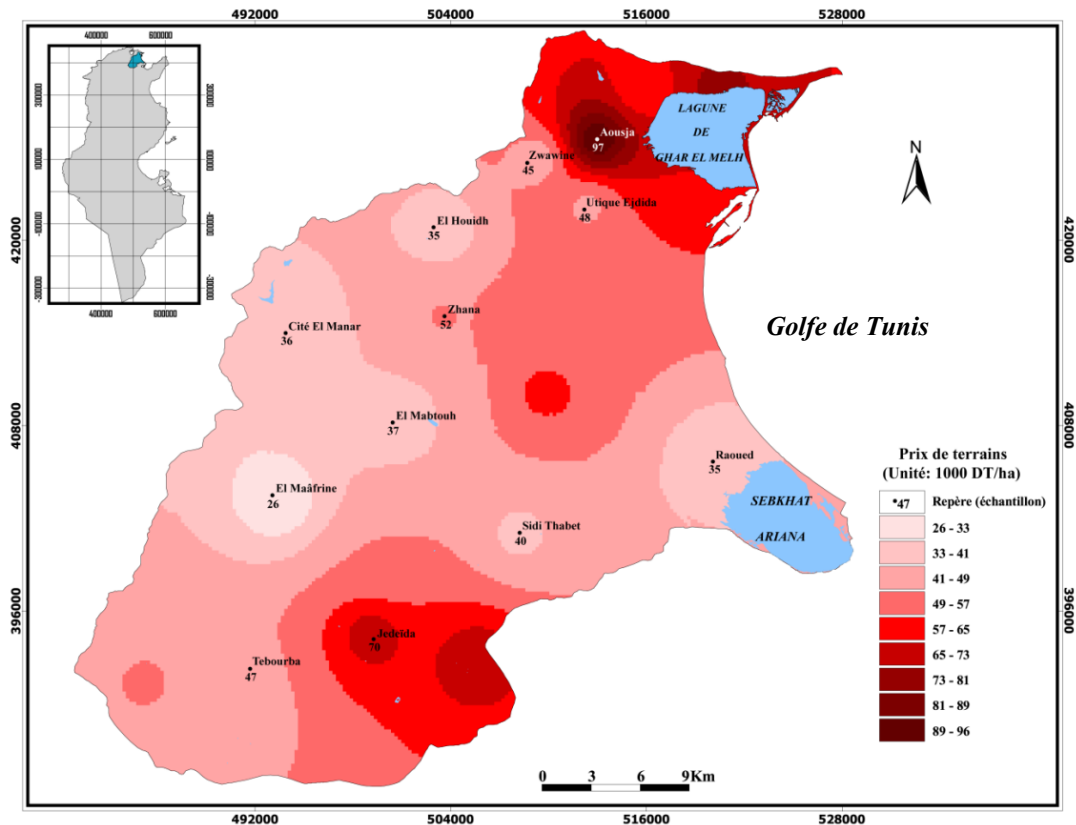
- **La production audio-visuelle** : En janvier 2002, la société de production audiovisuelle "Cactus Prod" s'est installée dans le delta de Mejerda, précisément à El Houidh, pour réaliser des émissions de divertissement destinées à un large public. En bénéficiant par la desserte de l'autoroute Tunis- Bizerte et par une opportunité foncière à coût plus accessible qu'ailleurs. " Nessma TV ", "la grande télé du Maghreb", s'est installée également dans la zone industrielle d'Utique.

Depuis le début de ce siècle, la concurrence pour l'occupation du sol dans le delta de Mejerda, s'est accélérée avec un rythme considérable. L'incompatibilité du système agricole traditionnel, le faible rendement agricole des garâas, le développement de l'infrastructure routière, l'intégration progressive dans l'économie méditerranéenne, les opportunités foncières à coût accessibles ont déclenché sans doute cette concurrence.

Les cartes des iso-prix (ill. n°111 et n°112), réalisées grâce à une interpolation (Arc View) de données de l'enquête socio-économique 2007 (annexes II), traduisent cette opportunité foncière. En effet, au début des années 1980, le prix du terrain (calculé en fonction du prix de l'irrigué) dans les secteurs marécageux ne dépasse pas 7 milles dinars/ha à Raoued et à El Houidh. Dans d'autres secteurs, le coût du terrain reste élevé notamment à Jedeïda (30 milles dinars/ha) et à Bèjou (49 milles dinars/ha). En 2007, malgré l'accroissement remarquable du coût foncier, la situation n'a pas beaucoup changé (35 milles dinars/ha à Raoued et à El Houidh, 70 milles dinars/ha à Jedeïda et 97 milles dinars/ha à Aousja).



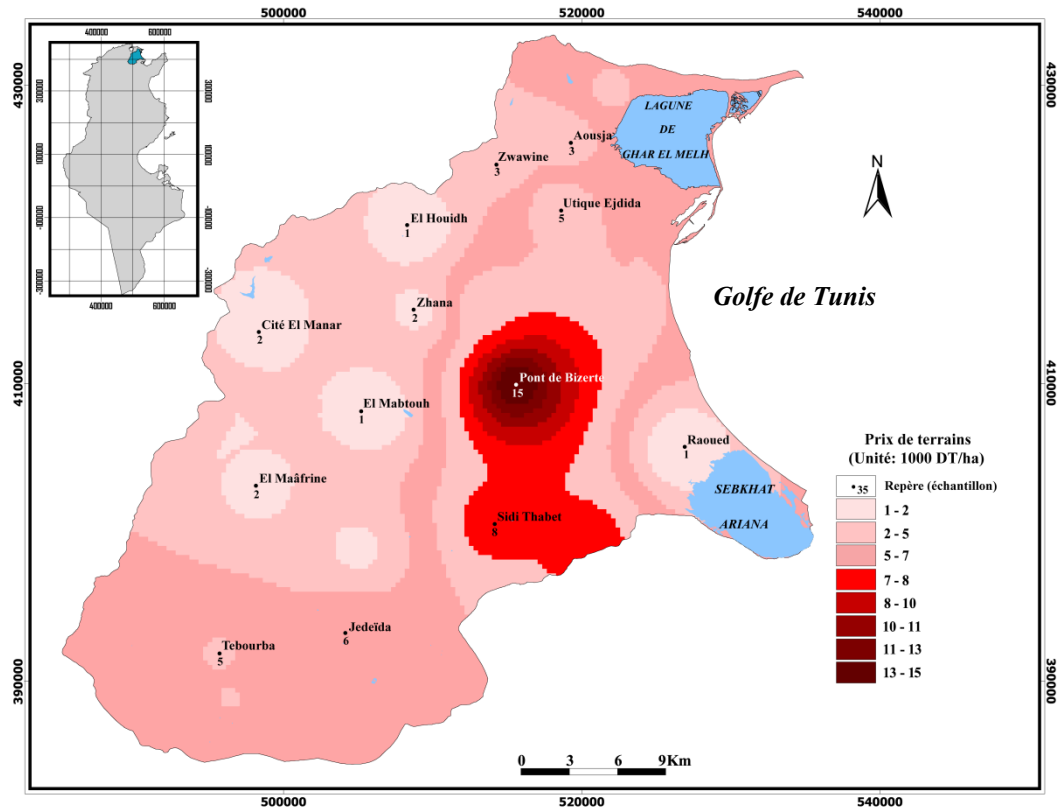
ill. n°111: La carte des iso-prix dans le delta de Mejerda au début des années 1980 (carte réalisée en fonction du prix des terrains irrigués), (enquête, 2007).



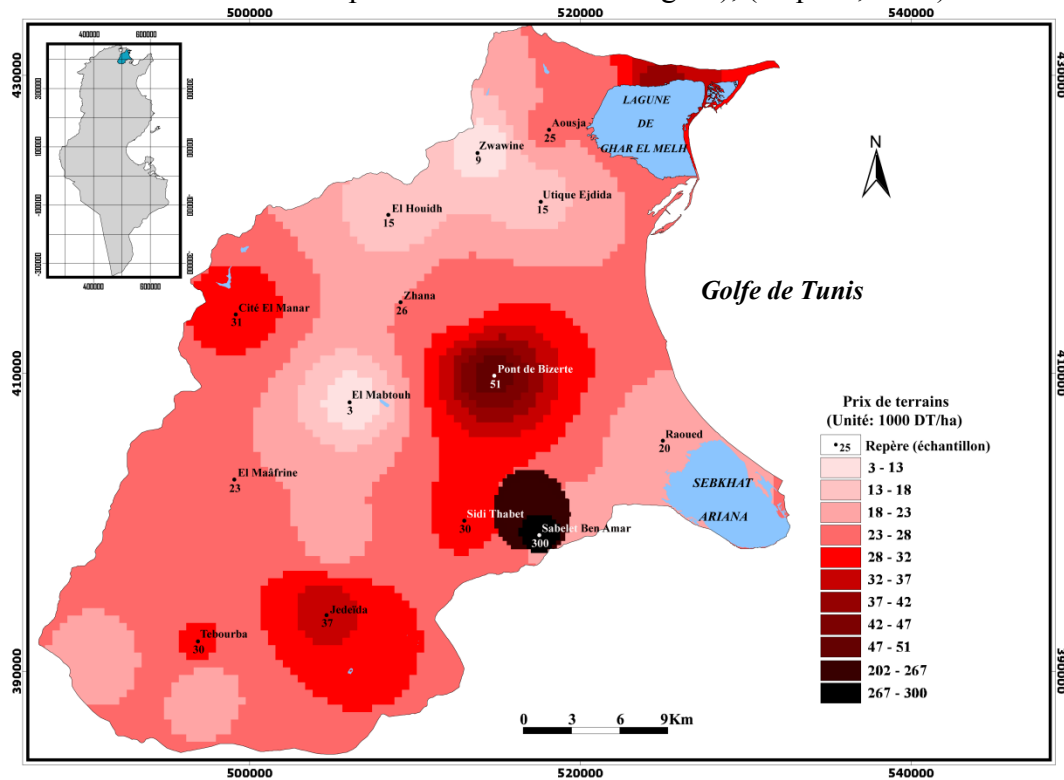
ill. n°112: La carte des iso-prix dans le delta de Mejerda en 2007 (carte réalisée en fonction du prix des terrains irrigués), (enquête, 2007).

Les résultats de l'enquête (ill. n°113 et 114), montrent une nette évolution du prix du foncier rural (terrains non irrigués) dans le secteur de Sabelet Ben Ammar (de 8 milles dinars/ha au début des années 1980 à 300 milles dinars/ha en 2007). Cette évolution peut être expliquée par l'accroissement de la demande sur le foncier après l'installation de la zone commerciale. Toutefois, le pont de Bizerte garde les prix les plus élevés pour les terrains non irrigués dans le delta de Mejerda ; 15 milles dinars/ha au début des années 1980 et 51 milles dinars en 2007.

Les espaces ruraux sont recherchés pour d'autres usages que l'agriculture et ce désormais dans tout le delta. A un moment où la demande alimentaire s'accroît, où la protection des ressources devient une nécessité. La consommation non maîtrisée de l'espace agricole est une question d'actualité. Quel avenir pour les espaces ruraux deltaïque ?, y a t'il une stratégie de sécurité alimentaire qui garantie aux moins les produits agricoles essentiels ? L'élaboration de scénarios prospectifs spatialisés à grande échelle, constitue une méthode puissante qui répond à ces questions, voir donner une image des futurs possibles des territoires agricoles du delta de Mejerda.



ill. n°113 : La carte des iso-prix dans le delta de Mejerda au début des années 1980 (carte réalisée en fonction du prix des terrains non-irrigués), (enquête, 2007).



ill. n°114: La carte des iso-prix dans le delta de Mejerda en 2007 (carte réalisée en fonction du prix des terrains non-irrigués), (enquête, 2007).

Chapitre 3 :

**MODELISATION PREDICTIVE
DE L'OCCUPATION-UTILISATION
DU SOL EN CONTEXTE AGRICOLE INTENSIF :
APPLICATION A LA COUVERTURE HIVERNALE
DES SOLS DANS LE PERIMETRE IRRIGUE
DE KALAAT LANDALOUS**

L'objectif de ce chapitre est de développer une méthode reproductible qui permet d'effectuer une prédiction à court terme de la couverture hivernale des sols dans le périmètre irrigué de Kalaât Landalous. Ce type de couverture a un impact avéré sur la qualité de l'eau. Il influe sur le transfert des flux de polluants d'origine agricole au sein des périmètres irrigués. Sa prédiction, peut constituer une aide à la programmation d'actions dans le cadre de projets de restauration de la qualité de l'eau. En revanche, elle pose un certain nombre de problèmes d'ordre méthodologique.

Une approche approximative qui se base sur un modèle expert et qui utilise *la règle des évidences de Dempster-Shafer* a été retenue puisqu'elle permet de prendre en compte l'imprécision et les lacunes de connaissances liées à cette problématique et aux données disponibles, et d'associer un degré de confiance aux résultats produits. Des prédictions de la couverture hivernale des sols sont effectuées selon les deux hypothèses « Sols couverts » et « sols nus à peu couverts ». Après avoir déterminé les dynamiques spatio-temporelles des changements passés, notamment à partir d'une série multi-temporelle d'images de télédétection, et avoir défini les facteurs motivants les changements passés et à venir, la fusion des sources d'informations qui représentent ces facteurs sera réalisée avec *la règle de Dempster-Shafer*.

1. La modélisation de la couverture hivernale des sols : intérêts, rappels sur l'approche conceptuelle et le choix d'un modèle.

1.1. Simuler l'évolution de la couverture hivernale des sols : quels intérêts ?

Dans des régions d'agriculture intensive telle que le delta de Mejerda, la connaissance de l'évolution de l'occupation-utilisation du sol représente un enjeu important. Des changements de systèmes culturaux, des modifications des structures paysagères et des pratiques agricoles ont entraîné depuis quelques décennies des problèmes environnementaux, en particulier une dégradation importante de la qualité des sols et des ressources en eau.

Depuis la fin des années "90", la mise en place de programmes de restauration a enclenché des modes d'usage des sols et des pratiques agricoles dont certains peuvent se traduire spatialement. Dans ce contexte, la connaissance des variations spatio-temporelles de l'occupation-utilisation du sol constitue un élément-clé dans une démarche de restauration de la qualité " eau-sol ". En particulier, les successions d'états de couverts végétaux sur les parcelles en hiver influent sur les transferts de flux polluants et jouent comme un accélérateur lorsque les parcelles sont laissées nues après des cultures telles que le maïs ou les céréales, ou

comme un frein lorsqu'elles sont couvertes par des inter-cultures. Ainsi, l'évolution de la localisation de la couverture végétale en hiver au sein des périmètres irrigués a un impact sur la qualité de l'eau en faisant notamment varier les taux de nitrates et de pesticides, la proportion de surfaces agricoles laissées nues constitue un des indicateurs retenus pour l'étude de l'évolution des systèmes de production agricole vis-à-vis de l'environnement (CORGNE S., 2004). La définition des trajectoires des changements de la couverture hivernale des sols présente ainsi un intérêt dans le cadre des programmes de restauration surtout pour la qualité de l'eau, tant à des fins de validation des actions entreprises pour les changements passés observés, qu'à des fins de programmation d'actions pour les changements à venir à travers l'établissement des scénarios prédictifs.

On a intérêt à simuler l'évolution de la couverture hivernale dans le périmètre irrigué de Kalaât Landalous pour trois raisons :

- Tout d'abord, les résultats de l'étude hydro-agricole de Kalaât Landalous-Ras Djebel (1998), montrent que dans ce secteur d'étude il y eu disparition de certaines cultures trop sensibles au sel et aux excédents azotés malgré que ce périmètre est récent (1992).
- Ensuite, on a constaté pendant la réalisation de l'enquête « socio-économique » un changement rapide des systèmes culturaux non comparable au reste du delta, avec des attitudes culturelles originaires aux Kaliaâs ».
- Enfin, on dispose de plusieurs données relatives à ce secteur (images satellitaires, statistiques sur la production agricole, données du milieu physique...) et nécessaire au processus de modélisation.

1.2. La couverture hivernale des sols : une classe aux limites floues.

La couverture hivernale des sols fait référence à la fois à "l'occupation" et à "l'utilisation " du sol, car elle peut être analysée comme un état ponctuel du couvert végétal à un instant précis et également être perçu comme un état transitoire entre deux cultures principales avec une fonction économique propre.

La couverture hivernale des sols correspond à une classe d'occupation-utilisation du sol aux limites floues. D'un point de vue temporel, elle s'inscrit dans une période de transition de l'utilisation du sol par un exploitant agricole qui, selon de multiples critères, peut s'avérer et être plus ou moins longue. Associé à cet état temporel incertain, l'identification et le suivi du couvert sont rendus parfois difficiles avec une grande variété des états de surface et des types

de couverts après les cultures principales. L'aspect incertain et imprécis qui caractérise la nature même du couvert hivernal d'un point de vue spatial que temporel est prise en compte pour une simulation pertinente de la couverture hivernale de sols.

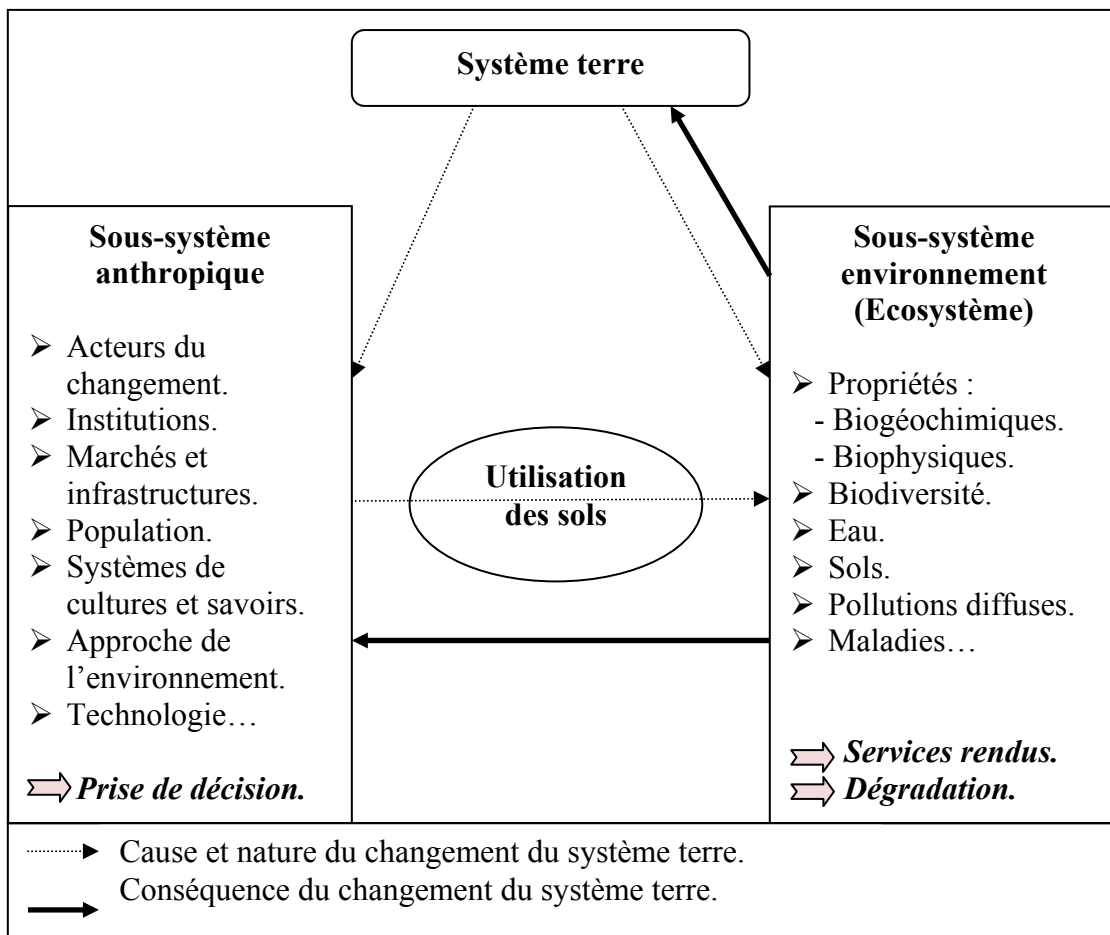
1.3. Rappels sur l'approche conceptuelle de la modélisation :

1.3.1. La modélisation en géographie :

L'approche modélisatrice basée sur le développement des technologies informatiques, constitue aujourd'hui un mode d'analyse privilégié en géographie. Cette démarche s'inscrit dans l'émergence d'un nouveau paradigme géographique " l'analyse spatiale" qui se développe à partir des années 1930. A l'origine, et comme réaction contre les pratiques traditionnelles de la géographie, préoccupée d'illustrer et d'expliquer l'unicité de chaque lieu, l'analyse spatiale s'est posée autant qu'une approche nomothétique orientée par la recherche de modèles et de lois générales. « L'analyse spatiale est l'étude formalisée de la configuration et des propriétés de l'espace produit et vécu par les sociétés humaines » (CHAMUSSY H. et al., 1994) ; elle se consacre à la localisation et à l'étude d'un phénomène dans l'espace à des fins de description, d'explication ou de modélisation (CORGNE S., 2004). La démarche est ainsi hypothético-déductive. Elle consiste à interroger le réel à partir des hypothèses en utilisant des théories et des modèles spatiaux explicitement énoncés. Ces derniers sont confrontés à la réalité géographique en pratiquant des simulations. L'objectif de cette approche est d'identifier des régularités et des principes d'explication et des énoncés grâce à des concepts spatiaux, qui se répètent sur de multiples portions d'espace terrestre. Il se réalise par une confrontation permanente entre propositions générales et situations particulières.

1.3.2. Les facteurs de changements d'occupation-utilisation du sol :

Les changements d'occupation-utilisation du sol sont souvent modélisés en fonction d'une sélection de variables socio-économiques et biophysiques que l'on nomme « facteurs de changements » (OJIMA D. & MORANE E., 2004). Ces variables sont multiples. Elles peuvent ainsi correspondre à des contraintes climatiques, à la qualité des sols, aux programmes environnementaux agissant sur le site d'étude et à la conjoncture politique, économique (ill. n°115),...Ainsi, il est impossible de prendre en compte la totalité des facteurs qui motivent les changements d'occupation-utilisation du sol.



ill. n°115 : Causes et conséquences des changements d'occupation-utilisation des sols (OJIMA D. & MORANE E., 2004)

Les facteurs du changement agissent à des niveaux d'analyses spatiales et temporelles différents et leur sélection est ainsi très dépendante du niveau de simplification du modèle. Plus le modèle de simulation est complexe, plus le nombre de facteurs de changements à prendre en compte est important. Des approches sont développées afin de déterminer les facteurs de changement prépondérants dans les changements d'occupation du sol, à partir de l'analyse des relations entre les changements d'occupation du sol et les facteurs de changements identifiés.

Trois approches peuvent être distinguées (VERBURG P.H. et al., 2004) : la première se base sur les relations établies entre les changements d'occupation-utilisation du sol et les facteurs de changements impliqués. Les modèles économiques utilisent souvent cette approche basée sur l'analyse des « input-output » afin d'en déterminer des lois générales (FISHER G. et SUN L.X., 2001). La seconde approche utilise des méthodes empiriques qui quantifient les relations entre les facteurs de changements et l'occupation du sol via des techniques statistiques (PONTIUS R.G. et CHNEIDER L., 2001 ; MERTENS B. et LAMBIN E.F., 1997). La troisième méthode consiste à faire appel à la « connaissance expert ». Cette

méthode est fréquemment utilisée pour les modèles de type automate cellulaire (CECCHINI A., 1996), où la complexité même du modèle favorise plutôt l'approche qualitative exprimée à dire d'experts.

1.3.3. Les modèles de simulation de l'évolution de l'occupation-utilisation du sol :

De multiples modèles ont été développés pour produire des simulations de l'évolution de l'occupation-utilisation du sol (BRIASSOULIS H., 1999 ; AGARWAL C.G. et al., 2000 ; VELDKAMP A. et LAMBIN E.F., 2001 ; PARKER D.C. et al. 2003). Dans une synthèse non exhaustive, on distingue sept grandes catégories de modèles, qui se recoupent pour partie :

- Les modèles mathématiques basés sur une ou plusieurs équations qui recherchent une solution d'équilibre (SKLAR F.H. et COSTANZA R., 1991 ; CHUVIECO E., 1993).
- Les modèles systémiques (GILBERT N. et TROITZSCH K.G., 1999) ; ceux fondés sur des techniques statistiques telles que des régressions (MERTENS B. et LAMBIN EF, 1997).
- Les modèles experts (EASTMAN R., 1999).
- Les modèles d'évolution, reposant sur les réseaux neuronaux (BALLING R.G. et al., 1999).
- Les modèles cellulaires qui comprennent les automates cellulaires (ALCAMO J., 1994) et les champs de Markov (Li H. & REYNOLDS J.F., 1997).
- Les modèles multi-agents (WOOLRIDGE M., 1999).
- Certains modèles sont dits hybrides car ils combinent deux ou plusieurs de ces catégories de modèles. Le plus connu est le modèle CLUE qui assemble des techniques statistiques avec des modèles cellulaires (VELKAMP A. et FRESCO L.O., 1996).

Ces différents modèles peuvent être à leur tour classés en fonction de leur approche d'analyse :

- l'approche non approximative comprend les modèles d'approche « dure », de type empirique, mécaniste et systémique.
- l'approche approximative comprend les modèles intégrant le flou, l'imprécision et l'incertitude dans leur processus de modélisation.

1.3.4. Prise en compte de l'incertitude et de l'imprécision dans le processus de modélisation :

La masse de plus en plus importante d'informations diverses et variées liée, entre autre, au fort développement de l'informatique (et donc des possibilités accrues de traiter et stocker l'information) génère de nouvelles perspectives en géographie. Elle pose également de nouvelles difficultés de gestion et de traçabilité des contenus informationnels qui font aujourd'hui l'objet de nombreuses recherches et débats (organisation des bases de données, mise aux normes internationales des métadonnées, gestion et utilisation des « mémoires environnementales »...). Il est reconnu maintenant que les informations spatialisées (issues de la télédétection, SIG, contrôles terrain,...) sont rare, voire jamais totalement exactes (HEUVELINK GERARD B.M. et BURROUGH P.A., 2002). On trouvera toujours des divergences significatives entre la réalité et sa représentation, car la réalité est incorporée dans un type de format de donnée rigide où les propriétés des unités spatiales sont au mieux estimées.

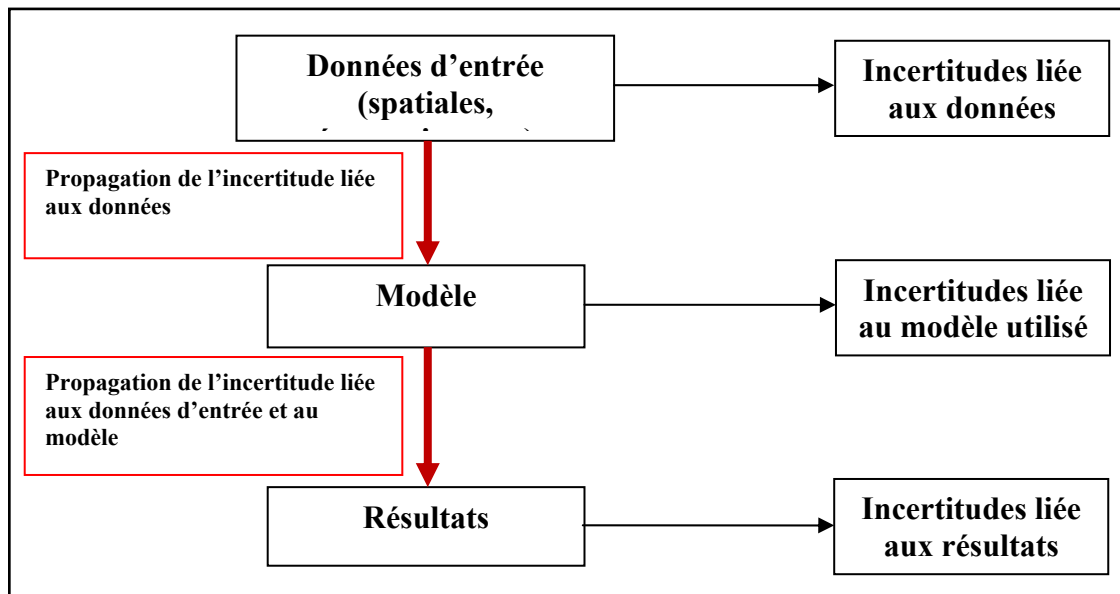
La validation d'un modèle de simulation de l'évolution de l'occupation-utilisation du sol est généralement basée sur la comparaison entre les résultats du modèle avec l'état observé à un instant précis. Un certain nombre de problèmes d'ordre méthodologique apparaît alors. En effet, il faut que la comparaison soit fiable, c'est-à-dire que la date de référence qui sert de validation correspond au même contenu informatif que le résultat issu de la simulation. Cela implique le même processus de classification si on utilise une donnée de télédétection, une résolution spatiale identique... Différents niveaux de validation interviennent : le premier prend en compte l'aspect quantitatif du taux de réussite de la validation. Le deuxième est qualitatif. Il valide spatialement la simulation avec le terrain, c'est-à-dire l'allocation spatiale des changements d'occupation du sol.

Plusieurs éléments incertains sont à prendre en compte dans une donnée spatialisée : la localisation géographique, la précision de l'attribut et sa cohérence logique. Or ces données spatiales sont de plus en plus intégrées dans les processus de modélisation environnementale. Leur précision informative, leur impact sur les modèles et leurs résultats deviennent ainsi un challenge important et fait l'objet de nombreux travaux de recherche (AGGREY A. et HUNTER GARY J., 2002 ; BACHMANN A. et ALLGÖWER B., 2002). Les méthodes utilisées pour estimer l'incertitude et sa propagation sont généralement d'ordre statistiques et géostatistiques (BACHMANN A. et ALLGÖWER B., 2002 ; GOOVAERTS P., 2002) et

s'appliquent aussi bien à des problèmes de classification d'images satellites qu'à des modélisations complexes d'évolution d'occupation du sol.

Différents niveaux d'analyse sont appliqués et sont présentés de façons schématiques et simplifiés (ill. n°116). Concernant les données d'entrée, plusieurs solutions existent pour estimer l'incertitude. La plus simple consiste à ne prendre en compte que les données les plus fiables possibles afin de minimiser la propagation des erreurs. La deuxième consiste à pondérer chaque donnée d'entrée en fonction de leur fiabilité mesurée au préalable par des modèles statistiques. Le modèle peut être également entaché d'incertitude étroitement liée à son paramétrage. Sa fiabilité dépend donc du modélisateur et de son niveau de complexité. Associée aux caractéristiques propres du modèle, la propagation de l'incertitude des données d'entrée peut aussi être mesurée par diverses simulations d'ordre statistique (BACHMANN A. et ALLGÖWER B., 2002).

Enfin, concernant les résultats la mesure de leur incertitude dépend des données d'entrée et du modèle utilisé. Leur estimation devient problématique et ne peut être mesurée qu'avec une confrontation avec la réalité afin d'estimer leur vraisemblance.



ill. n°116 : Prise en compte de l'incertitude dans un processus de modélisation d'un phénomène (CORGNE S., 2004)

1.4. Le choix d'un modèle pour simuler la couverture hivernale des sols en contexte agricole intensif :

Dans le cadre précis de simulations à court terme de l'évolution de la couverture hivernale des sols, les informations recueillies pour produire les simulations sont à la fois

imprécises et incertaines, soit qu'elles proviennent du traitement des séries d'images de télédétection, d'enquêtes et de relevés effectués sur le terrain, de statistiques agricoles ou encore d'avis d'experts. En conséquence, les simulations effectuées doivent prendre en compte le niveau d'imprécision et d'incertitude associé à la fois aux données et aux résultats produits. Cette dernière condition vise à augmenter la crédibilité des documents produits.

Le modèle doit par ailleurs être capable de gérer l'incertitude et l'imprécision, tout au long du processus de modélisation. Le modèle de type expert, reposant sur la théorie des évidences de Dempster-Shafer apparaît dans ce cas le plus pertinent. A l'inverse des modèles généralement utilisés, la théorie des évidences introduit en effet de l'incertitude dans le processus de modélisation, permet l'expression de l'ignorance ou de l'imprécision dans le corpus de connaissances et montre que le niveau de confiance dans une hypothèse donnée n'est pas nécessairement le complément de sa négation (Eastman, 1997), laissant ainsi la place à l'incertitude et au doute

1.4.1. La théorie des évidences de Dempster-Shafer :

La théorie des évidences de Dempster-Shafer, appelée également théorie du raisonnement plausible, est souvent considérée comme une généralisation de la théorie bayésienne des probabilités subjectives (DEZERT J, 2003). Développée pour la première fois par Dempster en 1968 et améliorée par Shafer en 1976, elle est basée sur un fondement mathématique robuste qui permet de représenter l'incertitude que l'on peut avoir sur une information ou un phénomène à traiter (CORGNE S., 2004). La théorie de Dempster-Shafer, que l'on nommera DST (Dempster Shafer Theory), est un outil théorique puissant qui permet de manipuler des informations entachées d'incertitudes et d'imprécisions et qui combine, via la règle de fusion définie par Dempster, différentes sources d'information en vue d'une prise de décision.

1.4.2. Notions fondamentales :

La théorie de Dempster-Shafer peut être analysée comme une extension de la règle de Bayes. La théorie probabiliste Bayésienne, permet de combiner une nouvelle évidence (une connaissance sur un phénomène ou processus quelconque) avec une connaissance définie "**a priori**" sur une hypothèse donnée, pour estimer la vraisemblance que cette hypothèse soit juste ou pas. Elle consiste ainsi à déterminer une règle de décision qui choisit l'hypothèse ayant la probabilité "**a posteriori**" maximale de se dérouler (BRACKER H., 1996).

$$p(h/e) = \frac{p(e/h) \cdot p(h)}{\sum_i p(e/h_i) \cdot p(h_i)}$$

- $p(h)$: La probabilité "**a priori**" de l'événement en question.
- $p(e/h)$: La probabilité conditionnelle d'une observation.

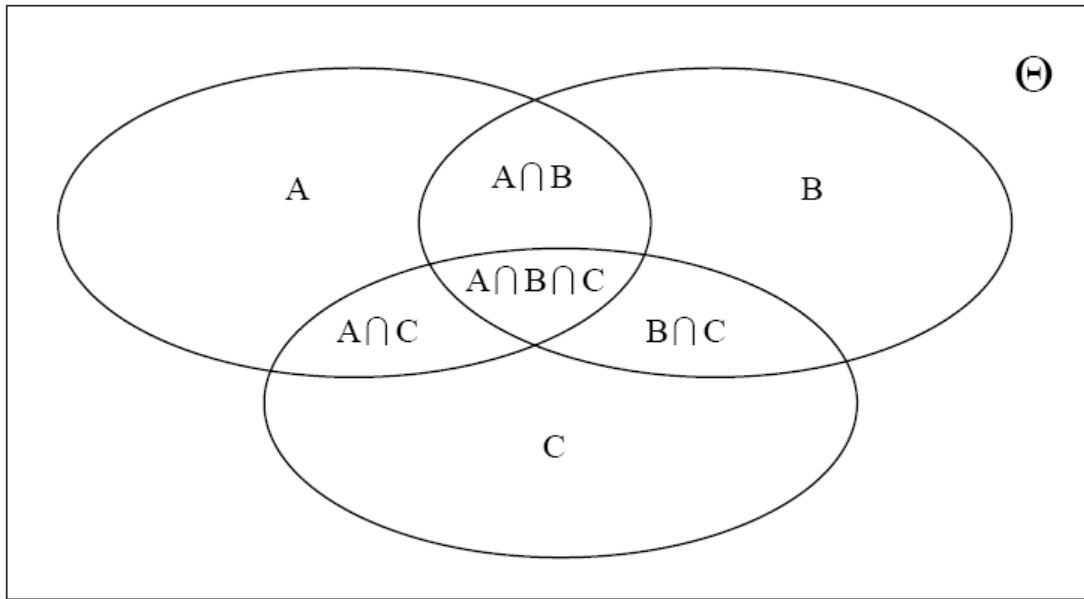
Le plus simple cas rencontré considère seulement deux hypothèses. La première question posée est de savoir s'il existe une connaissance "**a priori**" permettant d'attribuer une probabilité plus forte à l'une des deux hypothèses. Le cas échéant, une "**probabilité a priori**", c'est-à-dire, une probabilité sans relation avec les évidences "**p(h)**" et permet d'établir que l'hypothèse est vraie, est affectée à une des deux hypothèses. Dans le cas contraire, c'est-à-dire s'il n'existe aucune hypothèse de probabilité supérieure aux autres, les hypothèses sont intégrées dans le processus de combinaison avec des valeurs égales. "La probabilité conditionnelle" **p (e/h)** exprime la vraisemblance que les évidences soutenant chaque hypothèse soient pertinentes. La probabilité "a posteriori" **p (h/e)** exprime quant à elle la probabilité que l'hypothèse soit vérifiée à partir des évidences prédéfinies (CORGNE S., 2004).

1.4.3. Le cadre de discernement :

La théorie des évidences décrit un « cadre de discernement » Θ ou ensemble d'« hypothèses » élémentaires envisageables pour la solution du problème posé (DEZERT J., 2003). Ce cadre intègre toutes les hypothèses (Θ_i) nécessaires à la description complète d'un problème posé :

$$(\Theta_i) = \left\{ \theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots, \theta_N \right\}$$

Le nombre N indique le nombre total d'hypothèses ; Θ doit être exhaustif et l'ensemble des hypothèses exclusives qui le composent. Dans la théorie de Dempster-Shafer, le raisonnement porte sur l'ensemble des parties 2^Θ appelé également « power-set », qui est l'ensemble de tous les sous-ensembles de Θ . Tous les éléments de ce « power-set » correspondent à une proposition disjonctive (union de « singletons ») du cadre de discernement (CORGNE S., 2004). Le nombre de sous-ensembles est dépendant du nombre d'hypothèses contenues dans Θ . Pour trois hypothèses A, B et $C \subseteq \Theta$, on obtient ainsi sept sous-ensembles :



ill. n°117 : Sous-ensemble d'un cadre de discernement Θ composé de trois hypothèses A, B et

$$2^{\Theta} = \left\{ \begin{array}{c} C \text{ (CORGNE S., 2004).} \\ A, B, C, A \cup B, A \cup C, B \cup C, A \cup B \cup C \end{array} \right\}$$

La théorie de Dempster-Shafer comprend trois types d'opérations :

- La définition des fonctions de masses, de crédibilité et de plausibilité.
- La fusion des informations par la règle de Dempster.
- La prise de décision.

1.4.4. La définition des fonctions de masses, de crédibilité et de plausibilité :

➤ *Les fonctions de masses élémentaires :*

L'expression d'un degré de confiance, appelé croyance, pour chacun des sous-ensembles de Θ est effectuée à travers l'affectation d'une masse élémentaire (m) définie de 2^{Θ} sur $[0,1]$ de la façon suivante :

$$m(\emptyset) = 0 \text{ et } \sum m(A) = 1 \text{ où } A \subseteq \Theta$$

" m " représente la masse d'évidence associée à une source d'information sur un certain nombre d'hypothèses ou de propositions du cadre de discernement. Aucune croyance n'est affectée à l'ensemble vide (\emptyset). Par ailleurs, la somme de toutes les fonctions de masse attribuées aux différents sous-ensembles d'une hypothèse devra être égale à 1. $m(A)$ correspond à la masse de croyance "**directe**" affectée à l'hypothèse ou proposition A, c'est-à-dire au degré de confiance accordé à A selon les sources d'information (appelés également sources d'évidences).

➤ **La fonction de croyance :**

La fonction de croyance (**Cr**) (ou **crédibilité**) est dérivée des fonctions de masse. Ainsi, **Cr** (A) totalise toutes les raisons de soutenir l'hypothèse A. La mesure de la croyance (**Cr**) s'effectue sur le cadre de discernement, mais il est possible de la représenter par rapport à une fonction de masse comme suit :

$$Cr(A) = \sum_{B \subseteq A} m(B)$$

Pour calculer la croyance de l'hypothèse **A**, il faut donc effectuer la somme de toutes les propositions **B** qui sont strictement inclus dans **A**. La fonction de croyance peut donc être interprétée comme la borne inférieure d'une mesure de vraisemblance (BRACKER H., 1996). Une fonction de croyance nulle représente ainsi l'ignorance totale sur le problème considéré.

➤ **La fonction de plausibilité :**

La plausibilité (**Pl**) est également dérivée des fonctions de masse. La fonction de plausibilité **Pl** (A) exprime l'intensité avec laquelle on devrait soutenir l'hypothèse **A** si tous les faits non connus allaient dans le sens de cette hypothèse. Elle peut être définie de deux manières différentes (BRACKER H., 1996) :

- Soit par la fonction de croyance de l'évènement contraire à **A**, notée **A^c**.

$$Pl = 1 - Cr(A^c)$$

- Soit par rapport à la fonction de masse qui correspond à la définition originale de Dempster :

$$Pl(A) = \sum_{A \cap B \neq \emptyset} m(B)$$

Ainsi, la plausibilité représente le niveau de vraisemblance maximum d'une hypothèse donnée. **Cr**(A) et **Pl**(A) ont une valeur comprise dans l'intervalle [0,1]. A partir de ces deux valeurs, on peut déterminer une probabilité inconnue nommée "intervalle de croyance" (**Ic**) ou "intervalle de confiance" qui correspond à :

$$Cr(A) \leq Ic(A) \leq Pl(A)$$

1.4.5. La fusion des informations par la règle de Dempster :

Dans ses travaux, SHAFER G. (1976) a proposé la règle de fusion de Dempster, symbolisée par « \oplus » pour combiner deux sources d'informations distinctes. Ces dernières sont couramment appelées « sources d'évidence » (**B1** et **B2**). La fonction de croyance globale est obtenue, dans le cadre de la DST, à partir de la combinaison des jeux de masse "m1" et "m2". Elle s'exprime de la façon suivante :

$$m(C) \equiv [m_1 \oplus m_2](C) = \frac{\sum_{A \cap B = C} m_1(A)m_2(B)}{1 - \sum_{A \cap B = \phi} m_1(A)m_2(B)}$$

$\sum A \cap B$ est la sommation sur tous les sous-ensembles $A, B \subseteq \Theta$ tels que $A \cap B = C$. La constante de normalisation (K), qui correspond au dénominateur, doit être non nulle. Si $K = 0$, la combinaison entre les sources d'information est impossible. Cela signifie que les sources d'évidence "B1" et "B2" qui soutiennent chaque hypothèse sont totalement contradictoires. Le conflit (k) est alors total et proche de 1.

Dans ses travaux, CORGNE S. (2004), illustre un simple exemple de l'application de la règle de fusion de Dempster-Shafer à la couverture hivernale des sols. Il a proposé un cadre de discernement $\Theta = \{\text{Sol Nu (Sn)}, \text{Sol Couvert (Sc)}\}$ décrivant les hypothèses d'occupation du sol pour l'hiver suivant sur le territoire agricole. Pour chaque hypothèse, deux experts "m1" et "m2" émettent l'avis suivant :

$$m_1(\text{Sn}) = 0,85 ; m_1(\text{Sc}) = 0,05 ; m_1(\text{Sn} \cup \text{Sc}) = 0,1$$

$$m_2(\text{Sn}) = 0,7 ; m_2(\text{Sc}) = 0,02 ; m_2(\text{Sn} \cup \text{Sc}) = 0,28$$

Dans ce cas, l'application de la règle de fusion de DST pour l'hypothèse « Sol nu » est la suivante :

$$m(\text{Sn}) = \frac{m_1(\text{Sn})m_2(\text{Sn}) + m_2(\text{Sn})m_1(\text{Sn} \cup \text{Sc}) + m_1(\text{Sn})m_2(\text{Sn} \cup \text{Sc})}{1 - [m_1(\text{Sn})m_2(\text{Sc}) + m_1(\text{Sc})m_2(\text{Sn})]}$$

$$m(\text{Sn}) = \frac{0.595 + 0.07 + 0.238}{1 - [0.017 + 0.035]}$$

$$m(\text{Sn}) = \mathbf{0,9525}$$

La règle, appliquée pour l'hypothèse « sol couvert » et pour l'union des hypothèses donne les résultats suivants :

$$m(S_c) = 0,0179$$

$$m(S_n \cup S_c) = 0,0295$$

$$m(S_n) + m(S_c) + m(S_n \cup S_c) = 1$$

Dans ce cas, le niveau de conflit entre les sources est très faible puisque "K" est très proche de 1 (0,948). La prise de décision est aisée, la croyance, affectée à l'hypothèse « Sol nu », est très élevée. A travers cet exemple, CORGNE S. (2004) a constaté que la règle de fusion de DST est commutative et associative, c'est à dire que l'ordre de la combinaison n'a pas d'importance. Par ailleurs, la définition d'une fonction de masse qui représente l'ignorance totale, par exemple $m(A) = 0$ ne modifiera pas les informations acquises au préalable.

Un des avantages de la règle de fusion de Dempster-Shafer réside dans son caractère commutatif et associatif qui rend son implémentation relativement aisée. Par ailleurs, dans le cas de deux hypothèses, l'application de la règle, même si les sources d'informations sont nombreuses, reste très simple. C'est l'un des avantages de la DST qui autorise un nombre théorique illimité de sources d'informations à condition qu'elles soient indépendantes (CORGNE S., 2004).

Toutefois, La complexité de la mise en œuvre de la règle de fusion de la DST varie exponentiellement avec la cardinalité du cadre de discernement Θ , c'est-à-dire le nombre de propositions contenu dans Θ (DEZERT J., 2003). De plus, l'indépendance des sources, pré-requis nécessaire dans la règle de fusion de la DST, reste une condition souvent difficile à vérifier pour des données réelles.

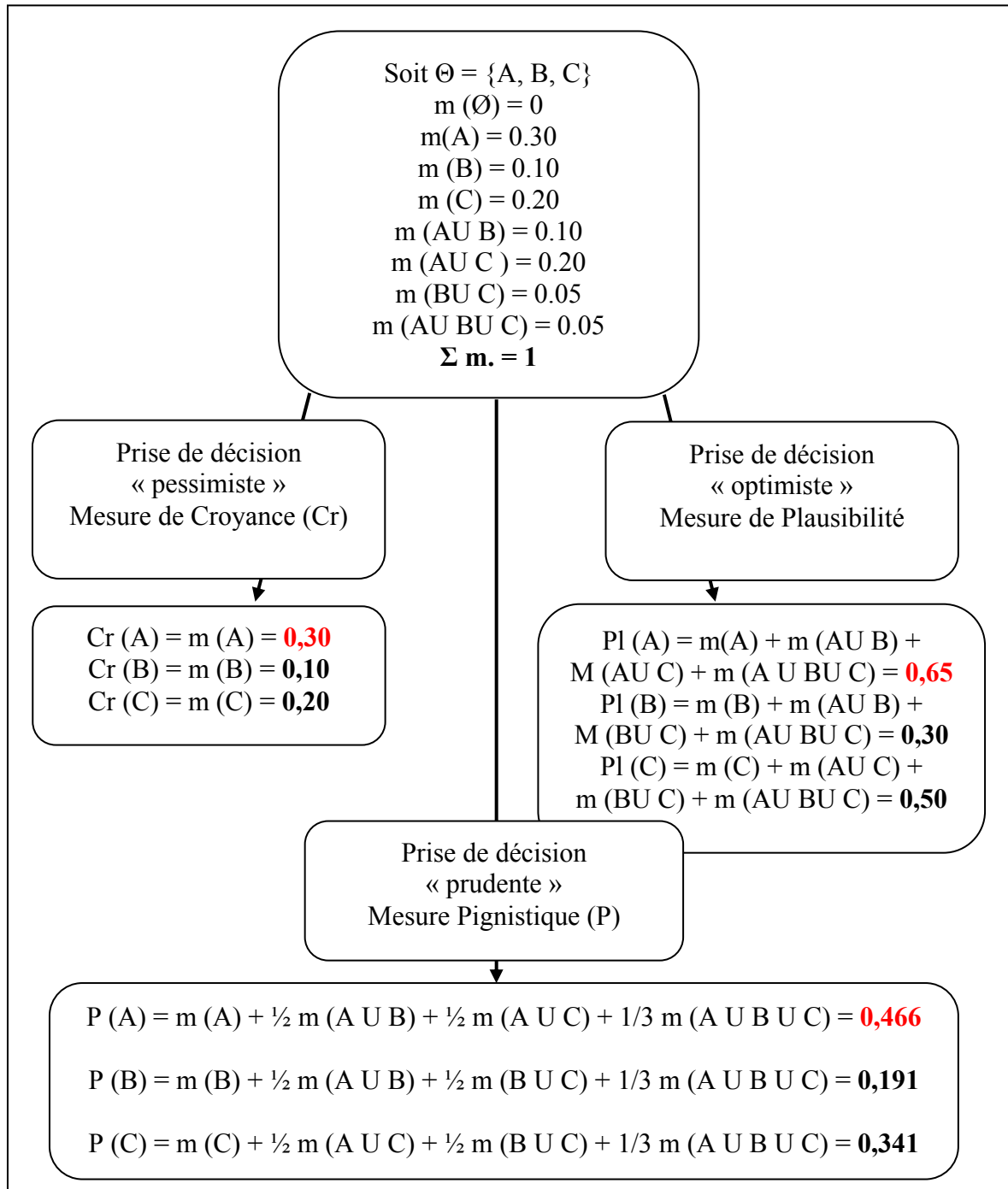
1.4.6. La prise de décision :

La prise de décision dans la DST est une étape difficile qui a fait et fait toujours l'objet de nombreux débats. De multiples critères de décision ont ainsi été proposés

(YAGER R., 1986 ; BRACKER H., 1996 ; SUDANO J., 2002), contrairement à la théorie bayésienne, où le maximum de vraisemblance est le critère le plus souvent retenu. Parmi les règles de décision les plus souvent retenues se trouvent : le maximum de crédibilité ; le maximum de plausibilité ; les règles basées sur l'intervalle de confiance ; "**la probabilité pignistique**" et la décision par maximum de vraisemblance.

La probabilité pignistique est une mesure de probabilité subjective qui se trouverait entre la mesure de crédibilité et de plausibilité (SMETS P., 1990). L'intérêt de la mesure de *la*

probabilité pignistique réside dans le fait qu'elle offre un compromis intéressant entre la croyance et la plausibilité, défini de façon objective (ill. n°118).



ill n°118 : Exemple de fusion de données avec la théorie de Dempster-Shafer (CORGNE S.. 2004)

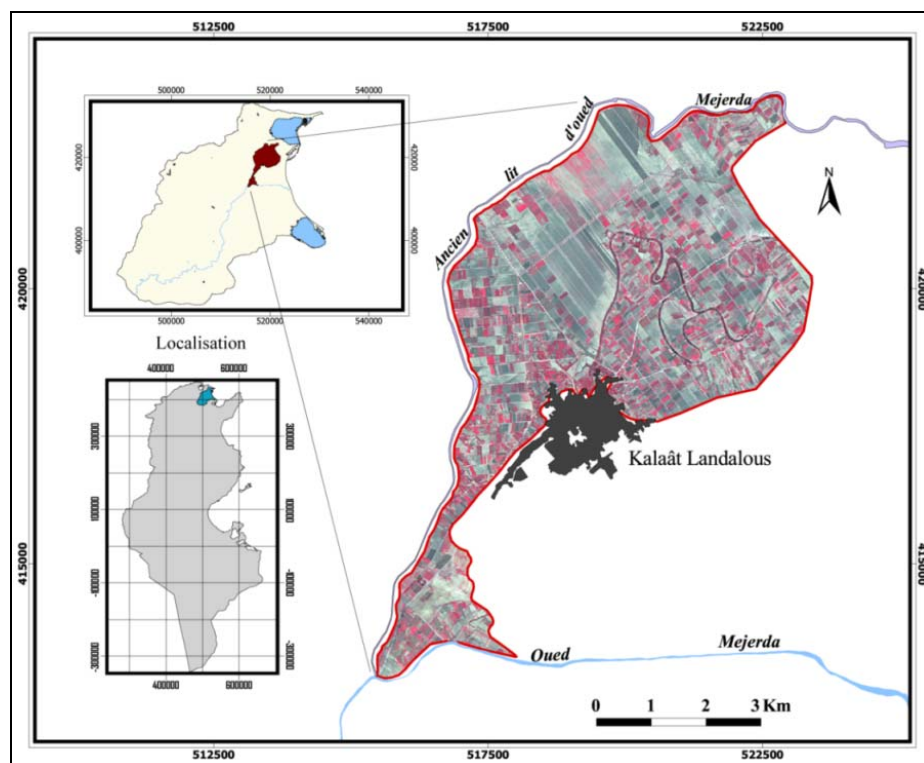
La théorie des évidences de Dempster-Shafer a été généralement appliquée pour fusionner des données de différentes sources, incluant les images de télédétection pour certaines applications. Ainsi, la théorie de Dempster-Shafer est fréquemment utilisée pour

mettre en évidence des changements d'occupation et d'utilisation des sols à partir des images satellitaires, de photographies aériennes et d'autres types de données (LEDUC F., et al., 2001).

Grâce aux travaux de CORGNE S. (2004), la théorie des évidences a été utilisée pour la première fois pour prédire la future utilisation des sols en France et en Europe. Ce type de modélisation est donc envisagé dans le cadre de ce travail avec l'objectif précis de tester l'application de la DST en Tunisie et précisément dans le delta de Mejerda. Ainsi, de répondre à la question : Où les modifications de couverture des sols vont-elles probablement se produire l'hiver prochain ou celui d'après ? L'originalité de la démarche réside dans l'introduction d'une dimension temporelle dans la modélisation. Celle-ci est basée sur l'historique de l'utilisation des terres, dérivé d'une série d'images satellitaires et des aptitudes (rotations) culturelles pratiquées dans les périmètres irrigués de Kalaât Landalous.

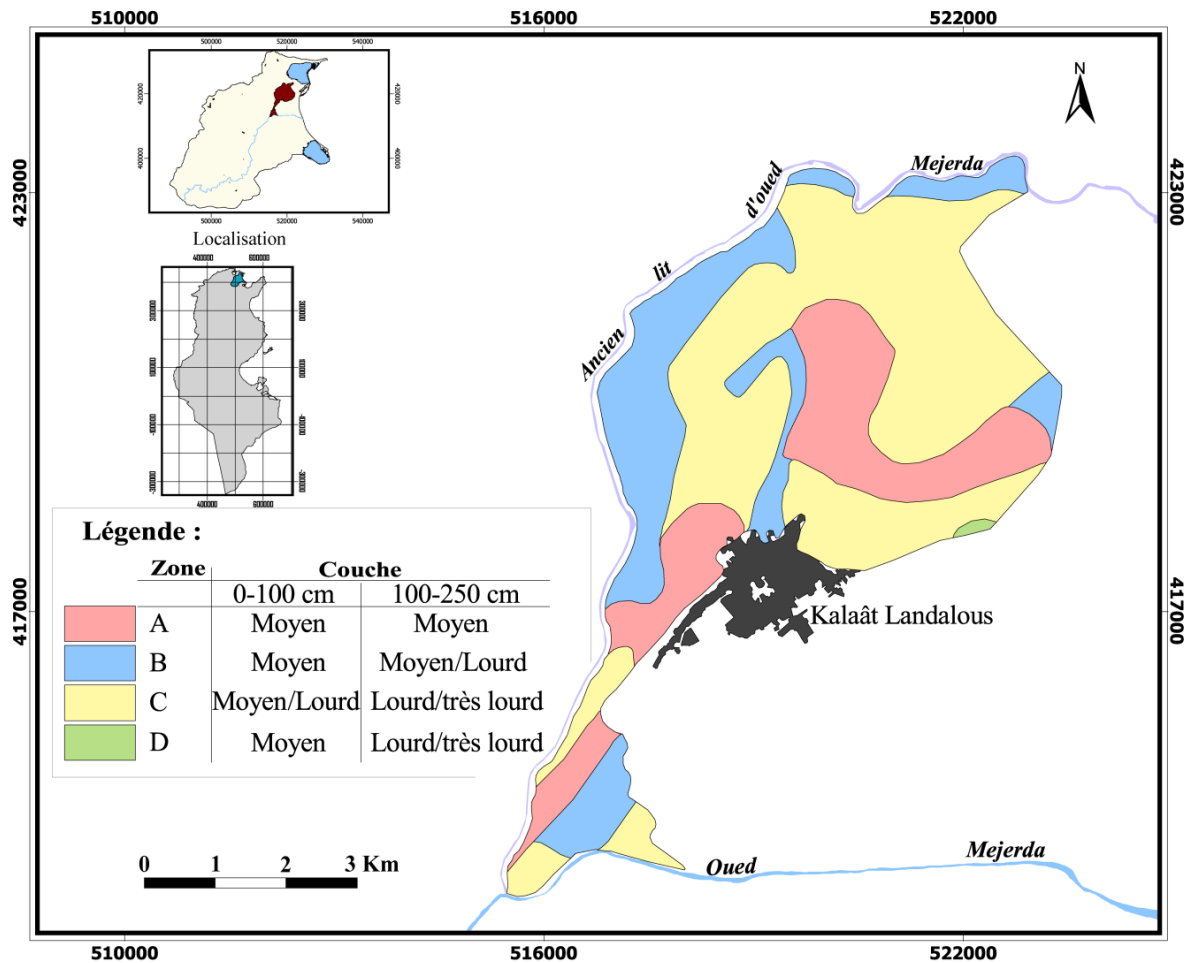
2. Les données du site :

La plaine de Kalaât Landalous est située dans la partie orientale du delta (ill. n°119) à une altitude de 3 à 5 m. Elle couvre une superficie de 3060 ha (3191 ha y compris les zones d'habitas, les routes et les différents aménagements hydrauliques) dont une partie gagnée sur des zones marécageuses et saumâtres de l'embouchure de l'oued Mejerda.



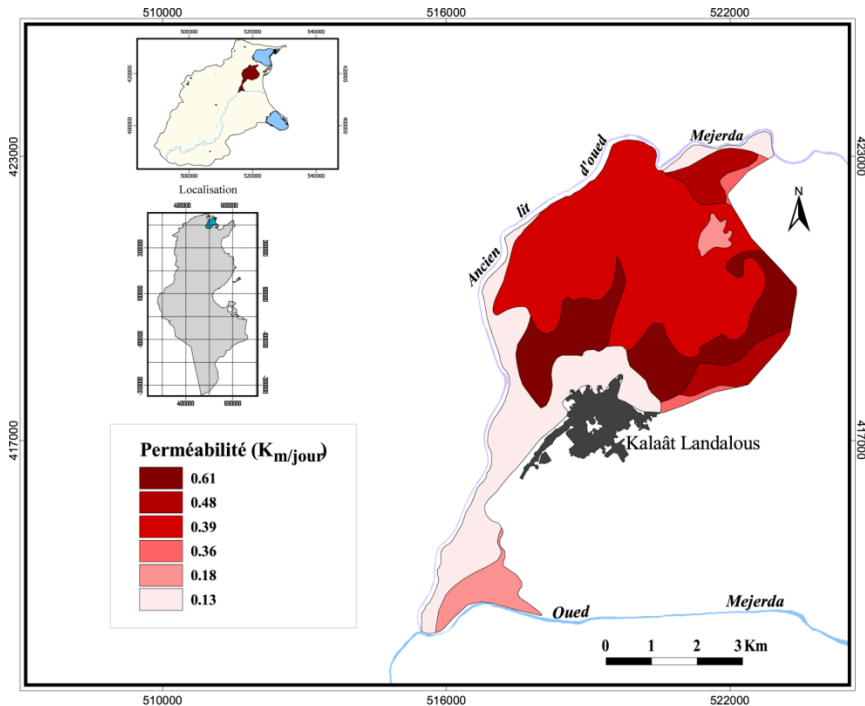
ill. n°119 : Le périmètre public irrigué de Kalaât Landalous : Localisation et délimitation (image Spot/XS 2002, ISIS-CNES)

Caractérisée par un climat méditerranéen semi-aride supérieur à hiver doux, la plaine de Kalaât Landalous reçoit près de 470 mm de pluie par an et son déficit hydrique climatique annuel s'élève à plus de 900 mm (HACHICHA M. et al., 1997). Les sols sont peu évolués d'apport fluvial, formés de matériaux argilo-limoneux fins à dominance de montmorillonite déposés par la Mejerda. On distingue des sols alluviaux sains et des sols avec des caractéristiques de salinité et de sodicité. Quatre unités texturales peuvent être distinguées à travers la carte des textures au 1/50000 (secteur de Kalaât Landalous,) (ill. n° 120).



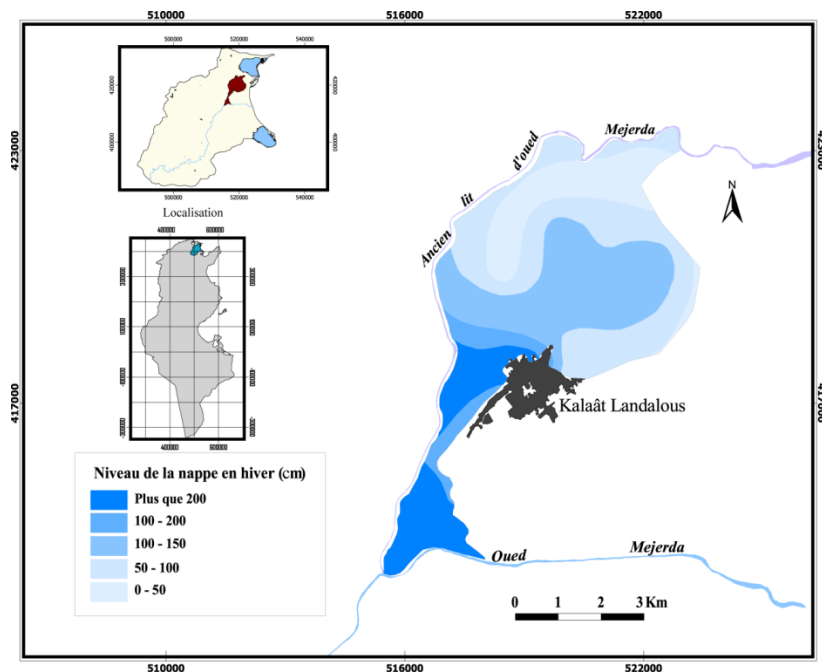
ill. 120 : Les unités texturales de la plaine de Kalaât Landalous
(Carte des textures au 1/50000, secteur de Kalaât Landalous)

Du point de vue perméabilité, on peut dire que les mesures effectuées par le service de la Pédologie et de l'Hydrologie (ministère de l'agriculture) au début des années "1980" ont permis de déterminer six zones de mêmes perméabilités. Il est à remarquer que les sols situés à proximité de l'ancien lit d'oued Mejerda, ont une perméabilité relativement faible (ill. n°121). Ceci étant vraisemblablement dû à des apports de limons et d'argiles lors des crues de Mejerda. Sur le reste de la plaine, on remarque une dégradation croissante de la perméabilité. Ceci est dû à l'halomorphie (CADIC B. & CLOAREC J-C., 1976).



ill. 121 : La perméabilité des sols de la plaine de Kalaât Landalous (CRDA de l’Ariana, 2009)

L’illustration des niveaux de la nappe de Kalaât Landalous (ill. n°122) pour les hivers de la période 1990-2002, montre que dans la partie Nord de la plaine (intéressante du point de vue agricole), la nappe remonte jusqu’à près de 50 cm en hiver.

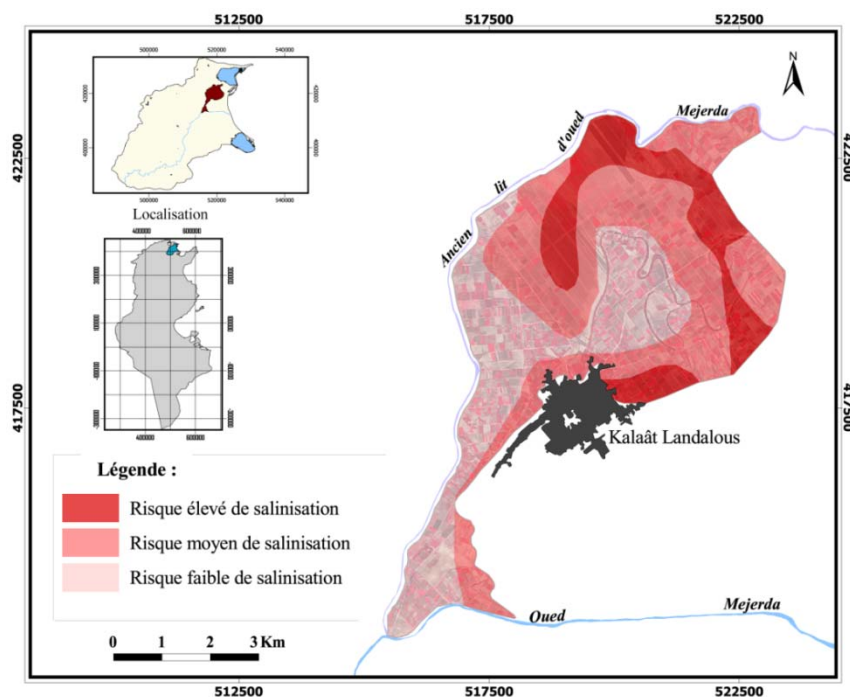


ill. 122 : Situation de la nappe de Kalaât Landalous en hiver (1990-2002) (CRDA de l’Ariana, 2009)

A l’Est du périmètre, Il est possible de tracer une ligne parallèle au rivage où la nappe se trouve à moins de 1 m.

Sur la base des propriétés des sols (texture et salinité) et les caractéristiques de la nappe (niveau et salinité) et leur variabilité spatio-temporelle, HACHICHA M. et al. (1997), on a pu distinguer trois zones à risques de salinisation (ill. n°123) :

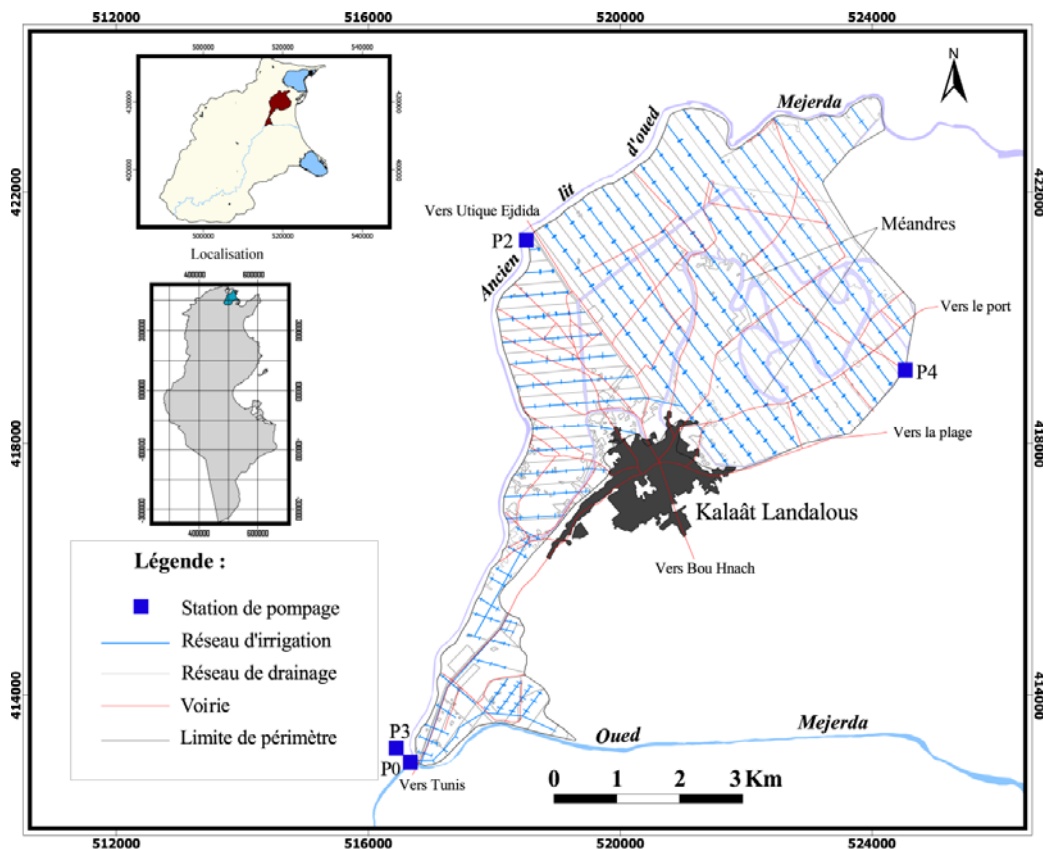
- Au milieu de périmètre et près des bras morts des oueds, il existe une zone à faible risque de salinité. Elle est caractérisée par un sol peu perméable et faiblement salin (teneur en sel < 4dS/m (ce qui correspond à 3 g/l environ)). La nappe est à plus de 200 cm avec une salinité inférieure à 15 dS/m .
- Tout autour de la première, il existe une zone à risque de salinisation moyenne : le sol est peu perméable et sa salinité est moyenne (4dS/m < teneur en sel < 8 dS/m). La piézométrie de la nappe varie entre 100 cm et 200 cm, avec une salinité comprise entre 10 dS/m et 20 dS/m.
- Au Nord-Est, au Sud et à l'Est, des zones sont à risques de salinisation élevée. Le sol y est stratifié et très peu perméable (salin et sodique). La nappe varie entre 60 cm et 120 cm et sa salinité est comprise entre 10 dS/m et 30 dS/m (HACHICHA M. et al., 1997).



ill. n°123 : Les zones à risque de salinisation dans la plaine de Kalaât Landalous (HACHICHA M. et al., 1997 : document modifié), (image de fond : Spot/XS 2002, ISIS-CNES)

L'aménagement du périmètre a été entrepris en 1986 (achevé en 1992). L'irrigation était pratiquée sans drainage artificiel avec une rotation des parcelles. Les cultures implantées étaient les céréales et le maraîchage qui est irrigué par l'eau de Mejerda. L'aménagement du

périmètre comprend un réseau d'irrigation et un autre de drainage (ill. n°124). Le réseau d'assainissement et de drainage comprend un réseau tertiaire, un réseau principal et enfin une station de pompage des eaux de drainage vers la mer (SLAMA F. et al., 2004). Les drains tertiaires ont une longueur de 150 m, un diamètre de 80 mm et un écartement de 40 m. les collecteurs secondaires sont constitués de fossés à ciel ouvert d'une profondeur qui varie de 1.6 m à 1.9 m, avec un écartement de 360 m. Ils débouchent dans deux émissaires principaux "E1" et "E2" qui véhiculent les eaux de drainage vers la station de pompage "P4" (SLAMA F. et al., 2004).



ill. n° 124 : Les différents aménagements hydrauliques dans les périmètres irrigués de Kalaât Landalous (CRDA de l'Ariana, 2009)

L'aménagement hydro-agricole du périmètre entrepris en 1986 (achevé en 1992), a consisté en l'installation d'un réseau de drainage qui comprend des drains tertiaires enterrés, des canaux secondaires à ciel ouvert, deux émissaires principaux et une station de pompage qui refoulent les eaux de drainage vers la mer. Pour son irrigation par aspersion, le périmètre a été divisé en unités parcellaires de 5 ha desservies par des bornes d'irrigation à partir d'une station de relevage des eaux de Mejerda (ill. n°124). L'eau est pompée de la station "P0" qui

envoie l'eau au bassin de Zhana et au barrage de Kharba fournissant ainsi la charge nécessaire pour l'irrigation par aspersion ou au goutte-à-goutte.

Pour alimenter le périmètre, l'eau transite par une station "P2" (ill. n°124); les cultures maraîchères et fourragères sont préconisées pour valoriser ces terres et rentabiliser les équipements (SLAMA F. et al., 2004).

3. Application de la théorie des évidences pour la modélisation de la couverture hivernale des sols sur le périmètre irrigué de Kalaât Landalous :

3.1. Les données utilisées et la méthodologie adoptée pour le processus de modélisation :

3.1.1. Les données utilisées :

Les données utilisées dans le cadre de ce travail sont très variées. Elles comprennent une série d'images de télédétection, des données vectorielles sur les limites administratives, les structures paysagères, les activités socioéconomiques, ainsi que des données issues de l'enquête socio-économique effectuées sur le terrain et auprès des exploitations agricoles. Notons qu'une bonne partie des données vectorielles proviennent de CRDA de l'Ariana (Tableau n°20), L'ensemble de ces données est traité sous SIG.

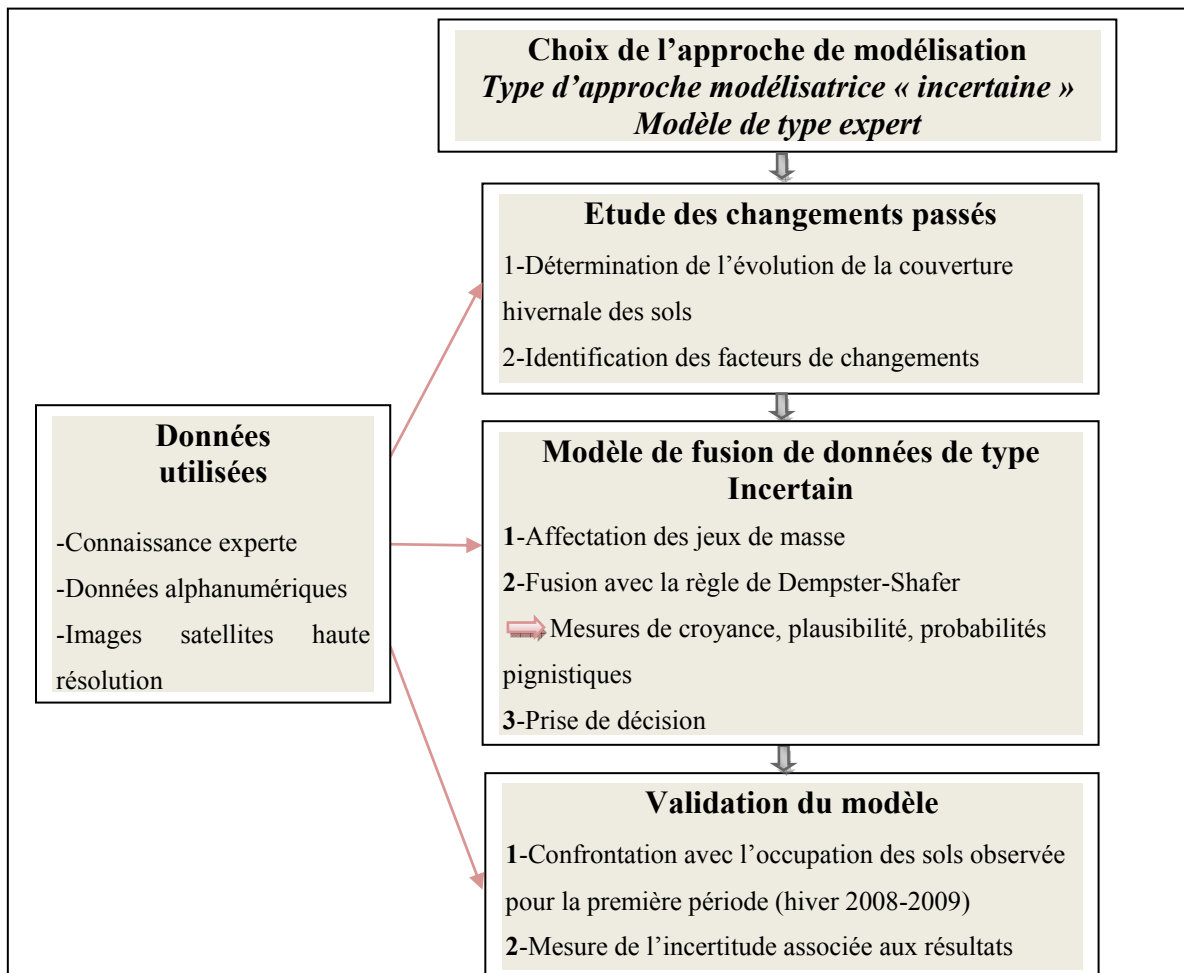
Tableau n°20 : Données utilisées dans le cadre du processus de modélisation prédictive de la couverture hivernale des sols sur le périmètre irrigué de Kalaât Landalous

Données de type spatial	
Limite du PPI	Couche vectorielle dérivée du plan détaillé du PPI (CRDA, Ariana)
Limites parcellaires	Couches vectorielles digitalisées à partir du plan du PPI et remises régulièrement à partir d'images satellitaires
Données de milieu (salinité, profondeur des nappes...)	Couches vectorielles digitalisées à partir des données cartographiques fournies par les services de CRDA de l'Ariana
Occupation/Utilisation du sol 1999	Couche vectorielle - Projet INFOTEL (DGF-MARH)
Images satellitaires	Une image Spot/XS (décembre 1999) avec une résolution de 20 m (ISIS-CNES) Une image Spot/XS (décembre 2000) avec une résolution de 20 m (CNT-Tunis) Une image Spot/XS (décembre 2001) avec une résolution de 20 m (CNT-Tunis) Une image Spot/XS (décembre 2002) avec une résolution de 20 m (UR-Géomatique & Géosystèmes)
Données de type socio-économique	
Système de production agricole	Défini par exploitation et associé au parcellaire agricole (C.T.V. - Kalaât Landalous)
Type d'exploitation (2007)	Défini par exploitation et associé au parcellaire agricole (C.T.V. - Kalaât Landalous)

3.1.2. La méthodologie adoptée pour le processus de modélisation :

Toute modélisation prédictive de l'évolution de l'occupation-utilisation du sol requiert d'une part la connaissance des trajectoires spatio-temporelles passées de l'occupation des

sols, l'identification des facteurs qui ont motivé ces changements ainsi que la détermination de leur poids relatif, et enfin des connaissances expertes permettant d'émettre des hypothèses vraisemblables sur le devenir des territoires étudiés en fonction de paramètres socio-économiques, législatifs, climatiques...(CORGNE S., 2004). Les étapes de la modélisation prédictive de la couverture hivernale des sols sont donc structurées selon ce cheminement (ill. n°125), (voir le cas d'une parcelle à l'Ouest de Kalaât Landalous, annexe I ; ill. n°22,...., n°24).



ill. n°125 : Méthodologie du processus de modélisation prédictive de la couverture hivernale des sols appliquée sur le périmètre irrigué de Kalaât Landalous (inspirée des travaux de CORGNE S., 2004).

Les changements passés sont d'abord déterminés essentiellement à partir d'une série multi-temporelle d'images satellitaires et à partir des systèmes de productions utilisés, puis par les facteurs les plus significatifs dans les changements d'occupation-utilisation du sol observés. La dernière étape consiste à intégrer les sources d'informations décrivant les facteurs susceptibles, de contribuer à l'évolution des modes d'occupation hivernaux des sols dans le modèle de Dempster-Shafer, afin de produire une prédiction à court terme – pour

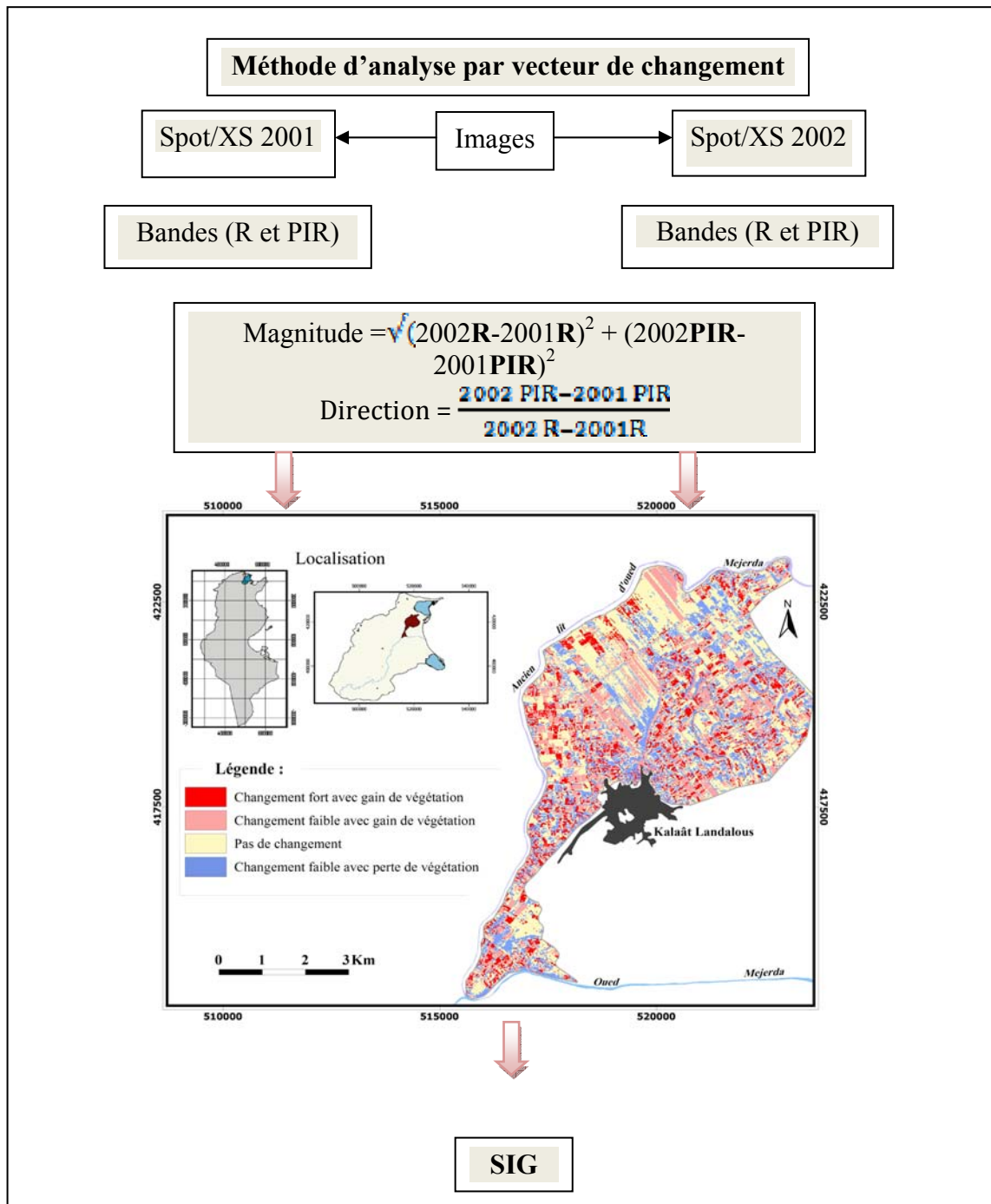
l'hiver suivant – de l'occupation des parcelles agricoles du périmètre irrigué de Kalaât Landalous. L'incertitude liée à l'état incomplet et imprécis des connaissances et des données, tant pour produire l'historique des changements passés, que pour déterminer et quantifier les facteurs de ces changements passés et à venir, est prise en compte au niveau de l'affectation des jeux de masse aux sources d'information intégrées dans le modèle.

3.2. Détermination des changements de la couverture hivernale des sols à travers les images satellitales :

La télédétection est couramment utilisée pour déterminer l'occupation des sols, mais assez peu d'études portent exclusivement sur la couverture hivernale des sols. Un des principaux freins à l'utilisation de ces données réside dans la faible répétition d'acquisition d'images exploitables à cette saison en raison de la fréquence de la couverture nuageuse, et dans la résolution spatiale des capteurs les plus couramment utilisés en télédétection qui limite dans certains cas, fortement la précision des résultats (HUBERT-MOY L. et al., 2001).

De nombreux travaux de recherches concernant la détection des changements actuels des surfaces terrestres à partir de données de télédétection ont été effectués depuis une vingtaine d'années (VOGELMANN, 1988; ALWASHE et BOKHARI, 1993; COPPIN et BAUER, 1996; RIDD et LIU, 1998 ; FOODY et BOYD, 1999 in HOUET T., 2006). Cependant, il n'existe pas à l'heure actuelle de méthode de détection du changement qui soit réellement générique. Les résultats obtenus montrent des différences qui peuvent être significatives tant au niveau quantitatif qu'au niveau qualitatif (CORGNE S., 2004).

Dans le cadre de ce travail, une analyse exploitant les caractéristiques spectrales des images dénommées « change vector analysis » (analyse par vecteur de changement), proposée par Malila en 1980 a été appliquée (est privilégiée à une analyse classique de croisement de classification - première partie, pp.87-88). La méthode des vecteurs de changement est une méthode basée sur la comparaison des mesures radiométriques de différents canaux ou d'indices de végétation pour analyser les mutations de l'occupation du sol. La mesure des changements radiométriques se fait par la soustraction normalisée de deux canaux de deux dates différentes sur le même espace géographique (ill. n°126). Cette opération permet de dégager deux composantes de changement radiométrique :



ill. 126 : Méthodologie de l'analyse des vecteurs de changements (AVC) calculés entre deux hivers

- La magnitude du changement (Mc) est obtenue par la distance euclidienne entre les deux mesures radiométriques. Elle représente l'intensité du changement et quantifie les variations saisonnières ou annuelles des réponses spectrales ou de l'indice de végétation (HOUET T., 2006).

- La direction du changement, exprimée par l'angle issu des valeurs radiométriques (LAMBIN E.F. & STRAHLER A.H., 1994) indique s'il y a eu une perte ou un gain de végétation entre les deux dates étudiées.

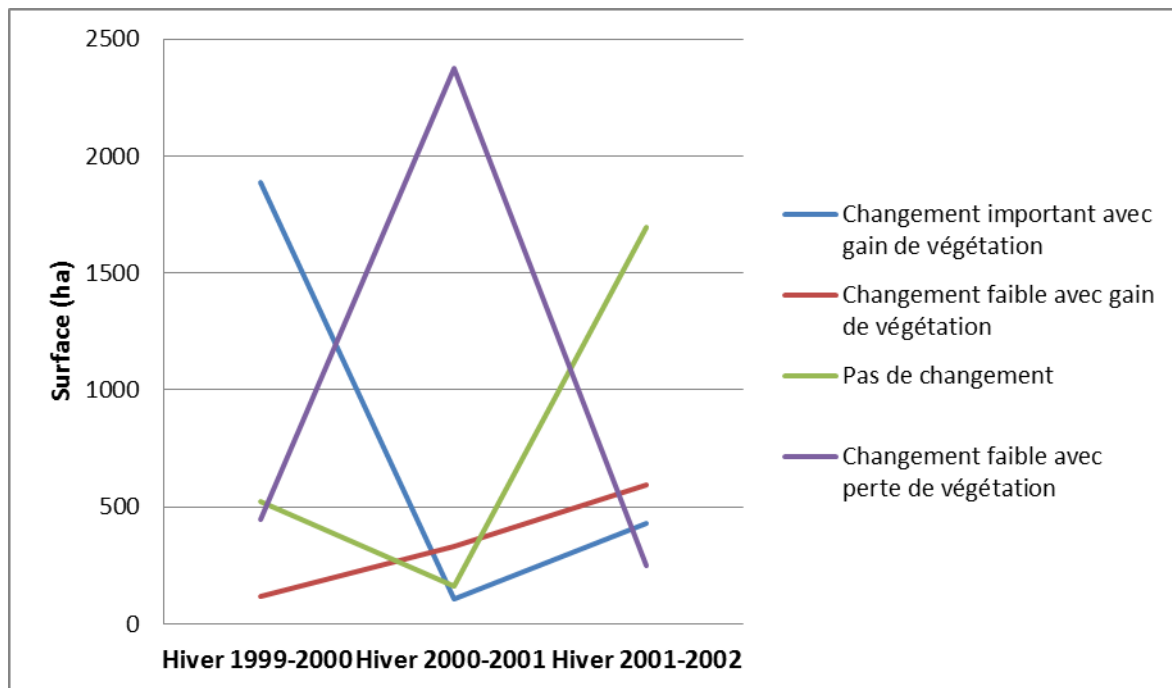
L'intersection et le seuillage de ces deux indicateurs permet de qualifier le changement (gain, perte ou stagnation de la végétation entre deux dates) et de le quantifier (fort, faible ou nul).

A titre d'exemple, l'analyse des vecteurs calculés pour les hivers 2001/2002 et 2002/2003 (Tableau n°21) permet de noter que les changements d'occupation du sol entre les deux hivers sont importants spatialement ; environ 1278 ha soit 42,9 % du périmètre irrigué de Kalaât Landalous y sont concernés par des changements. Parmi ces changements, 1026 ha ont connu des gains de végétation. 252 ha ont connu des pertes qui sont le résultat d'une modification radicale de l'utilisation du sol et concernent des parcelles en sols couverts durant l'hiver 2001/2002 qui ont évolué en sols nus à très peu couverts en 2002/2003.

Tableau n°21 : Estimation des modifications de couverture des sols entre les hivers 2001/2002 et 2002/2003 par l'analyse des vecteurs de changements

Classes	Surface (ha)
Changement fort avec gain de végétation	431
Changement faible avec gain de végétation	595
Pas de changement	1697
Changement faible avec perte de végétation	252

L'analyse menée entre chaque hiver étudié de 1999 à 2002 (ill. n°127) montre que les changements d'occupation de couverture hivernale des sols sont nombreux et que leur intensité entre les hivers peut s'avérer très hétérogène. En effet, près de 1046 ha sont caractérisés par "des changements faibles avec gain de végétation". Cela s'explique principalement par les dates d'acquisition des images satellites qui détectent des types de végétation à différents stades phénologiques. Les classes "changement important avec gain de végétation" et "changement faible avec perte de végétation" sont également très variables au fil des hivers qui illustrent une forte dynamique locale des changements (ill. n°127).



ill. n°127 : Evolution des niveaux de changement de couverture des sols entre les hivers étudiés (1999-2002).

3.3. Les facteurs de changement :

Les recherches qui concernent ce thème peuvent profiter de l'effort de réflexion conceptuelle approfondie. Ils sont effectués depuis 1996 dans le cadre du programme LUCC (Land Use and Covert Changes) afin de désigner les facteurs motivants les changements d'utilisations des sols. En effet, des agronomes (dans le cadre du projet LUCC) ont réussi à définir par système de production, les facteurs prépondérants expliquant les dynamiques d'évolution de la couverture hivernale du sol tels que :

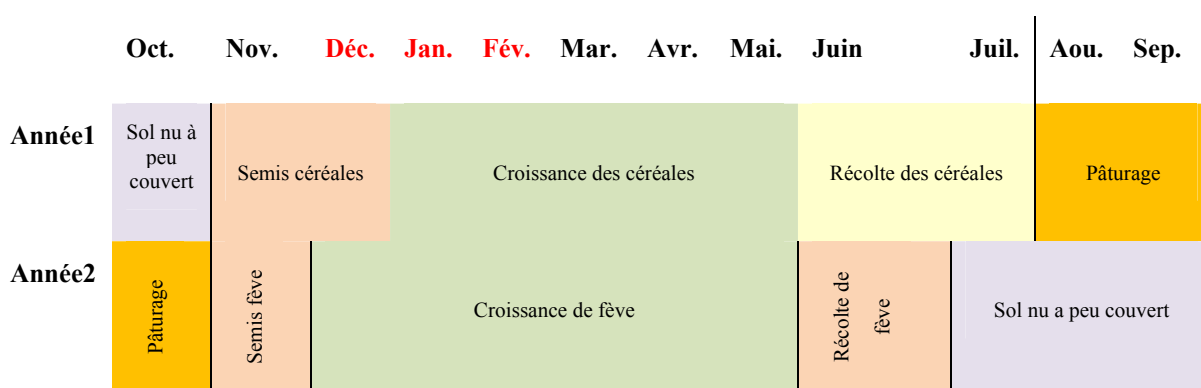
- La proximité de la parcelle par rapport au siège d'exploitation.
- La taille des parcelles.
- Le cycle de vie de chaque type de production.
- Mesures agro-environnementales (BIO).

A ce niveau, le facteur "mesures agro-environnementales (BIO)" est abandonnés car les données relatives à ce facteur sont trop incomplètes, même, elles ne sont plus renseignées par les organismes agricoles. A partir de la base de données constituée par les changements observés, l'identification des facteurs déterminant les changements de couverture des sols peut être enclenchée. En effet, l'utilisation des sols est largement dépendante des données du milieu physique (pédologie, salinité....) et de la façon de l'exploitation des ressources terrestres (systèmes de production – rotation agricole). Il est donc nécessaire de comprendre

comment les acteurs sur le terrain sont amenés à prendre des décisions et de quelle manière les facteurs qui motivent les changements interagissent dans certains contextes et influent sur la décision de changer ou non l'usage des terres (HOUET T., 2006).

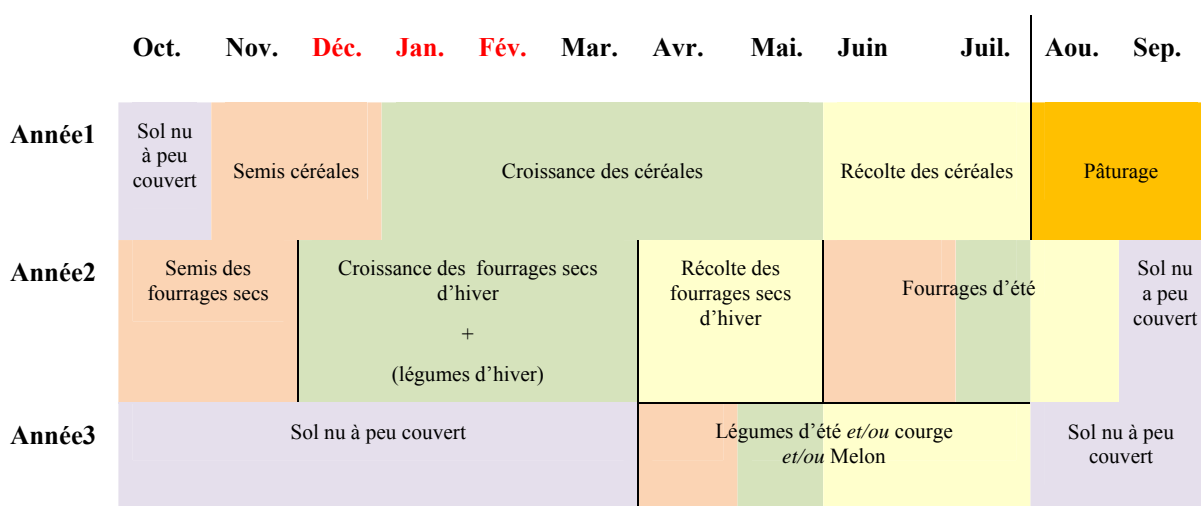
Au niveau parcellaire, le suivi des cycles de successions culturales représente un principal facteur explicatif des changements observés. Les différents systèmes de production répertoriés sont à prendre en compte et à mettre en relation avec des itinéraires techniques et des types de rotations culturales. A Kalaât Landalous, deux systèmes de production dominants peuvent être identifiés et rattachés à des rotations « type » (tableaux n°22 et 23) :

Tableau n°22 : Calendrier agricole pour une succession culturale de type "étendu" sur deux ans



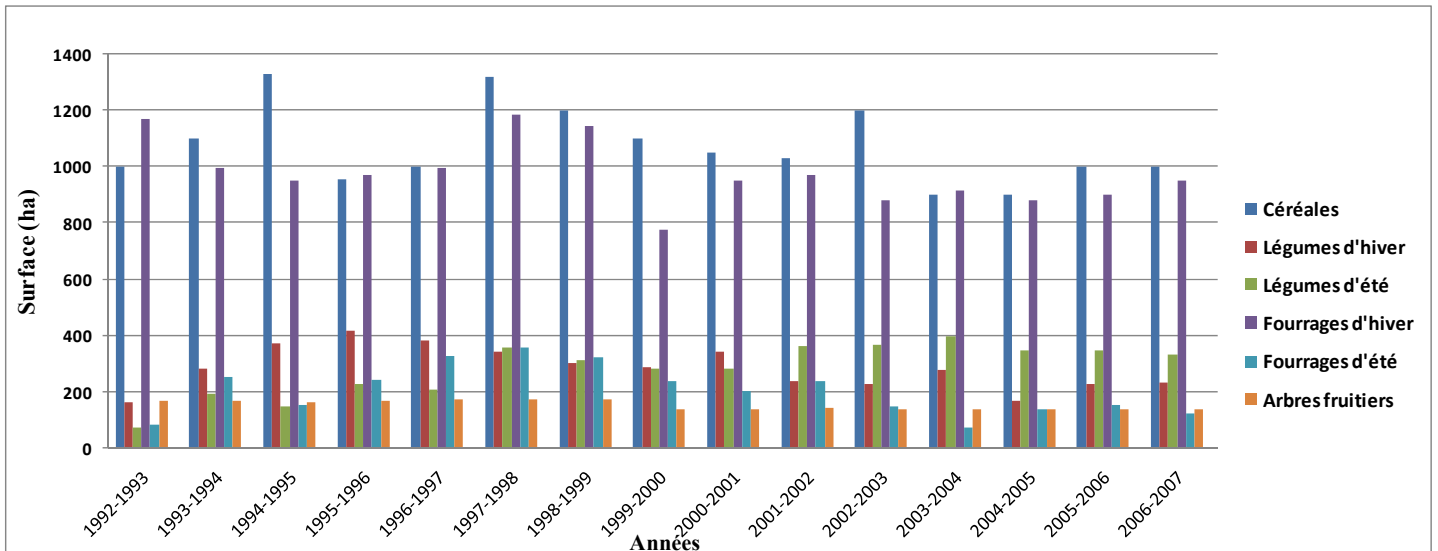
Source : C.T.V., Kalaât Landalous, 2009

Tableau n°23: Calendrier agricole pour une succession culturale de type "diversifié" sur trois ans

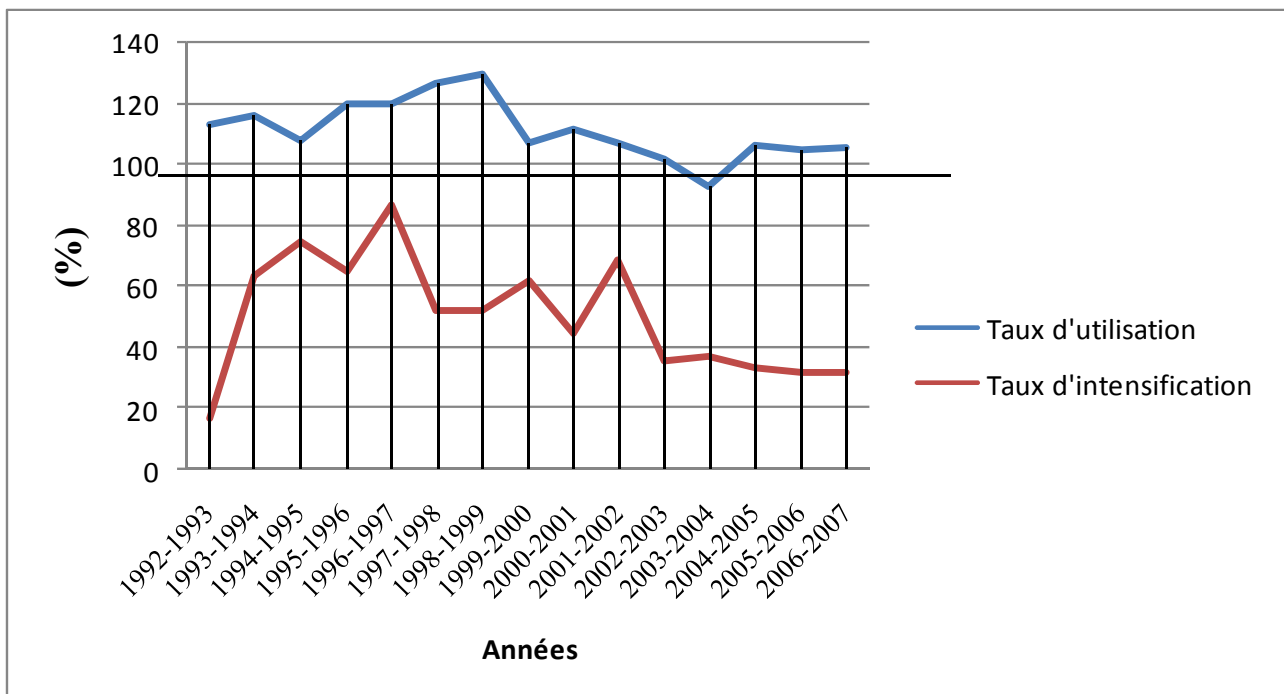


Source : C.T.V., Kalaât Landalous, 2009

Les données statistiques fournies par le C.T.V. de Kalaât Landalous et qui concernent l'état de recouvrement du sol (ill. n°128), le taux d'utilisation et le taux d'intensification des sols (ill. n°129) dans le périmètre irrigué de Kalaât Landalous depuis 1992 sont utiles également au processus de modélisation. D'ailleurs, elles sont intégrées dans la base de données "SIG".

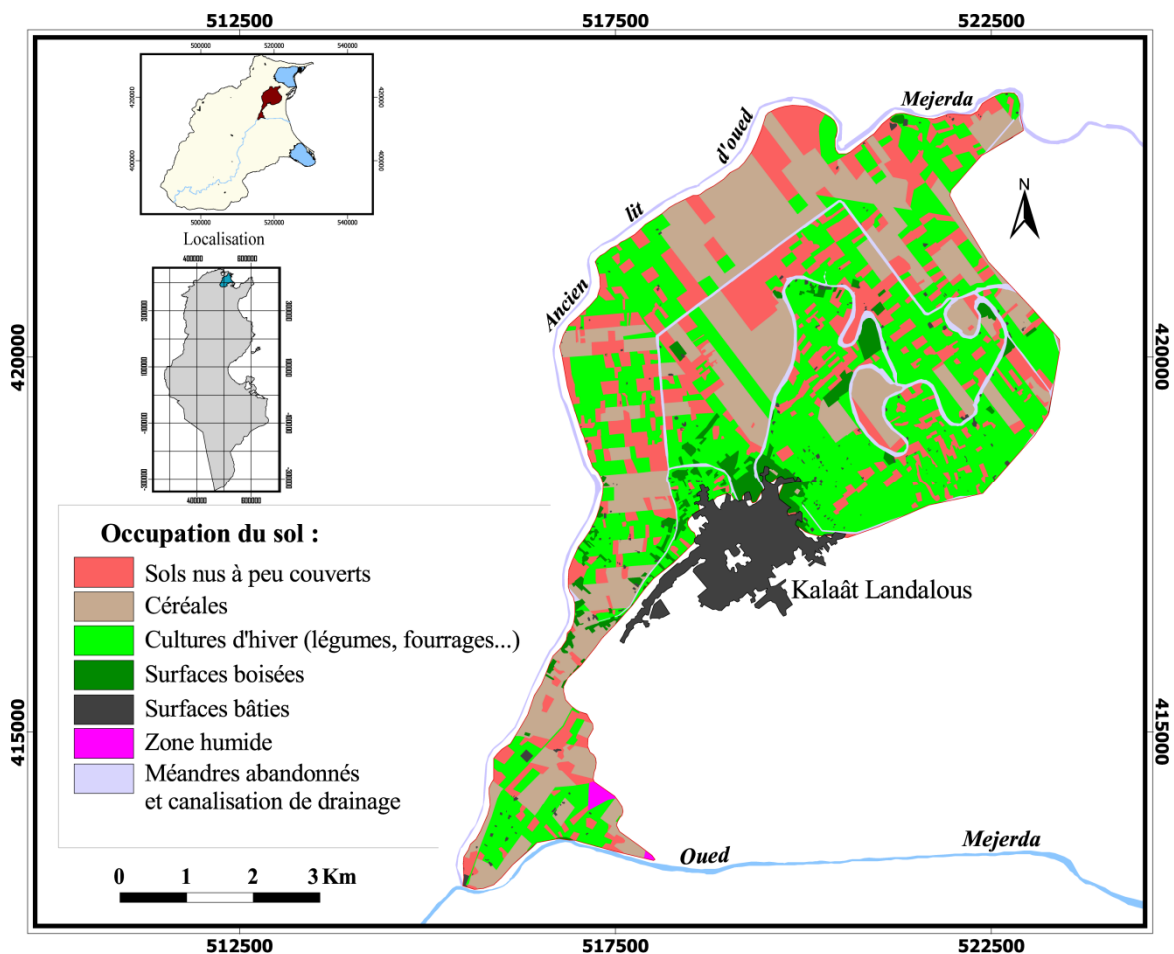


ill. 128 : Répartition des surfaces cultivées dans le périmètre public irrigué de Kalaât Landalous (C.T.V. de Kalaât Landalous, 2009)

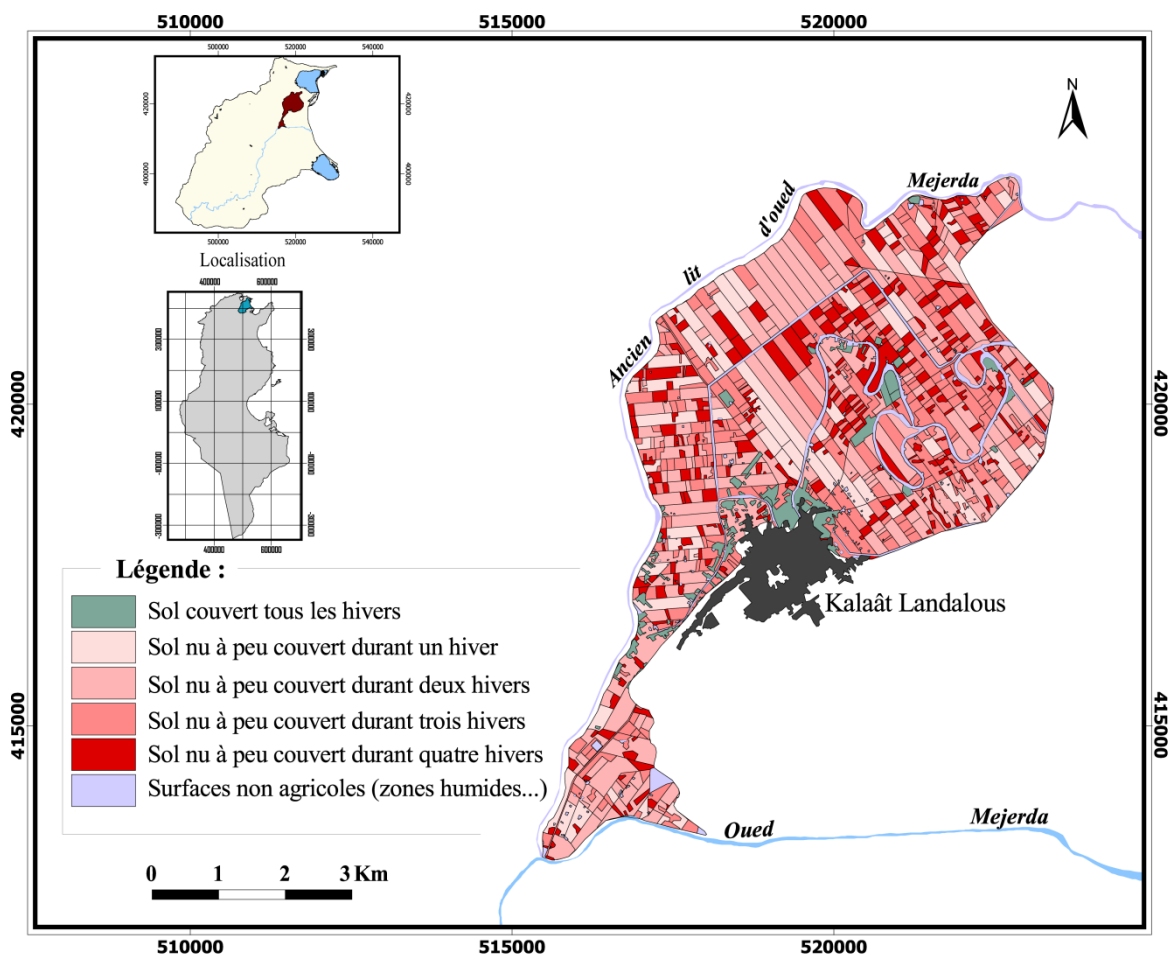


ill. 129 : Taux d'utilisation et d'intensification des sols dans le périmètre public irrigué de Kalaât Landalous (C.T.V. de Kalaât Landalous, 2009)

Les travaux de CORGNE S. (2004) et de HOUET T. (2006 & 2008) ont dénoté que l'analyse du rapport entre la variable « occurrence des sols nus à peu couverts » et celle « sol couvert » constitue un facteur de changement de la couverture hivernal pertinent. En effet, les occurrences de sols nus à peu couverts sont fortement corrélées aux dynamiques inter-hivernales des parcelles. Le croisement des vecteurs de changement des hivers étudiés (1999-2002), ainsi que la carte de l'occupation du sol pour l'hiver 2007-2008 (ill. n°130) avec celle des occurrences (ill. n°131) montrent que, 280 parcelles (soit 29.7%) ont été caractérisées par un "sol nu à peu couvert durant quatre hivers" (tableau n°24), et 346 parcelles (soit 36.7%) ont été caractérisées par un "sol nu à peu couvert durant trois hivers". Ces deux classes ont une occurrence forte, donc les changements sont faibles. Par contre, les parcelles qui ont été caractérisées par un "un sol nu à peu couvert durant deux hivers" (soit 18.8 %) et par un sol nu à peu couvert durant un hiver" (5.9 %), ont une occurrence faible et ont connu des changements importants (Tableau n°24).



ill. 130 : Occupation du sol hiver 2007-2008 (C.T.V. de Kalaât Landalous 2008, extraits d'images Google Earth © et enquête 2007)



ill. 131 : Occurrence des "sols nus à peu couverts" pour les hivers étudiés (1999-2002 et 2007-2008) dans le périmètre irrigué de Kalaât Landalous.

Les facteurs déterminés par les experts (agronomes), ont fait l'objet d'une validation réalisée par confrontation avec les changements passés, observés et dérivés des images de télédétection et de l'occupation du sol pour l'hiver 2007-2008.

L'analyse de la relation entre le pourcentage des sols nus en hiver et les classes ou les seuils retenus pour la variable explicative « occurrence sols nus » (tableau n°24) montre que, globalement, plus les occurrences sont importantes, plus la probabilité de retrouver un « sol nu à peu couvert » pour l'hiver" est forte. La taille de parcelle et sa proximité par rapport au siège de l'exploitation influent également sur la présence des sols nus hivernaux, puisque les parcelles inférieures à 2 ha qui se trouvent à moins de 500 m du siège de l'exploitation sont majoritairement (71%) couvertes par la végétation au cours des hivers étudiés.

Ainsi, pour modéliser l'évolution de la couverture des sols du périmètre irrigué de Kalaât Landalous, on a retenu les facteurs suivants : « occurrence de sols nus à peu

couverts », « la taille des parcelles », « la proximité du parcellaire par rapport au siège d'exploitation » et « les successions culturales ou systèmes de production dominés ».

Tableau n°24 : Répartition des parcelles agricoles du PPI de Kalaât Landalous en fonction des classes ou des seuils retenus pour les variables explicatives des changements.

Variables explicatives des changements	Classes ou seuils retenus	Effectifs (nombre de parcelles et %)
Proximité de la parcelle par rapport au siège de l'exploitation	1 : parcelle < 500 m du siège d'exploitation	154 (64,7 %)
	2 : parcelle > 500 m du siège d'exploitation	84 (35,3 %)
	3 : Exploitation sans siège	522
Taille des parcelles	1 : parcelle > 2 ha	421(48,9 %)
	2 : parcelle < 2 ha	439 (51,1 %)
Occurrences des sols nus à peu couverts (de 1999 à 2002 et l'hiver 2007-2008)	1 : sol couvert tous les hivers	84 (8.9 %)
	2 : sol nu à peu couvert durant un hiver	56 (5.9 %)
	3 : sol nu à peu couvert durant deux hivers	178 (18.8 %)
	4 : sol nu à peu couvert durant trois hivers	346 (36.7%)
	5 : sol nu à peu couvert durant quatre hivers	280 (29.7 %)

3. 4. Application de la théorie des évidences pour la modélisation de la couverture hivernale des sols sur le périmètre irrigué de Kalaât Landalous :

3.4.1. Affectation des jeux de masse pour chaque hypothèse et fusion des données :

La modélisation prédictive de la couverture hivernale des sols est réalisée au début pour l'hiver 2008/2009, informée des données issues des images satellitaires, mais surtout de l'état de recouvrement du sol pour l'hiver 2007-2008 (ill. n°130).

Le « cadre de discernement Θ » correspond à l'hypothèse « sols nu à peu couverts » et à l'hypothèse « sols couverts » et l'union de ces deux hypothèse qui représente l'incertitude.

Chaque source d'évidence (facteur de changement), reçoit une fonction de masse pour les deux hypothèses et leur union. Le résultat des affectations des jeux de masse est exprimé dans le tableau suivant :

Tableau n°25 : Affectation des jeux de masse pour chaque hypothèse.

Variables explicatives des changements	Classes ou seuils retenus	Hypothèse « Sols nu à peu couverts »	Hypothèse « Sols couverts »	Incertitude (Union des deux hypothèses)
Proximité de la parcelle par rapport au siège de l'exploitation	1 : parcelle < 500 m du siège d'exploitation	0.35	0.55	0.1
	2 : parcelle > 500 m du siège d'exploitation	0.6	0.2	0.2
	3 : Exploitation sans siège	0.7	0.1	0.2
Taille des parcelles	1 : parcelle > 2 ha	0.5	0.2	0.3
	2 : parcelle < 2 ha	0.2	0.6	0.2
Occurrences des sols nus à peu couverts (1994-1999-2000-2002-2007)	1 : sol couvert tous les hivers	0.005	0.95	0.045
	2 : sol nu à peu couvert durant un hiver	0.01	0.9	0.09
	3 : sol nu à peu couvert durant deux hivers	0.25	0.7	0.05
	4 : sol nu à peu couvert durant trois hivers	0.35	0.3	0.35
	5 : sol nu à peu couvert durant quatre hivers	0.5	0.2	0.3
	6 : sol nu à peu couvert durant cinq hivers	0.7	0.15	0.15
Système de production	1 : Etendu	0.1	0.8	0.1
	2 : diversifié	0.3	0.6	0.1

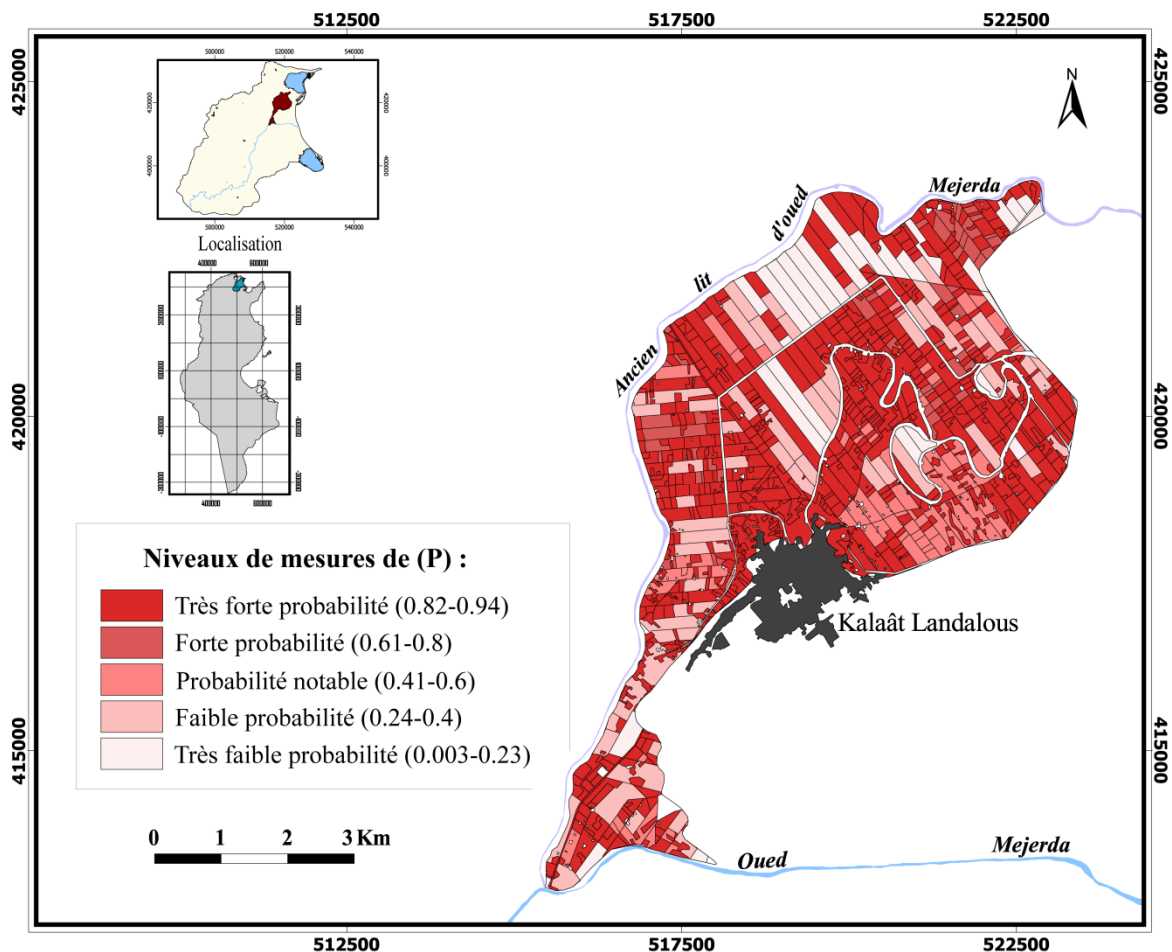
Les fonctions de croyance pour l'ensemble des facteurs identifiés sont globalement entachées d'une faible incertitude (tableau n°25). La fonction de masse la plus importante associée à l'union des hypothèses, est de 0,35. Elle concerne les parcelles caractérisées par un "sol nu à peu couvert durant trois hivers". Une forte incertitude (de 0.3) caractérise les parcelles supérieures à 2 ha et celles qui ont un "sol nu à peu couvert durant quatre hivers". Les autres variables sont plus précises, à titre d'exemple, le classe "sol couvert tous les hivers", et le classe "sol nu à peu couvert durant un hiver" sont concernées respectivement par

une fonction de masse importante de l'ordre de 0.95 et de 0.9 pour l'hypothèse "sols couverts" (tableau n°25).

3.4.2. La prise de décision :

L'étape suivante consiste à mesurer la probabilité pignistique (P), la croyance (Cr) et la plausibilité (PI) pour chaque hypothèse. Dans les travaux de CORGNE S. (2004), la probabilité pignistique a été privilégiée pour la prise de décision, « car elle constitue un compromis intéressant entre la mesure "pessimiste" de la croyance ou degré de confiance et la mesure "optimiste" de la plausibilité ».

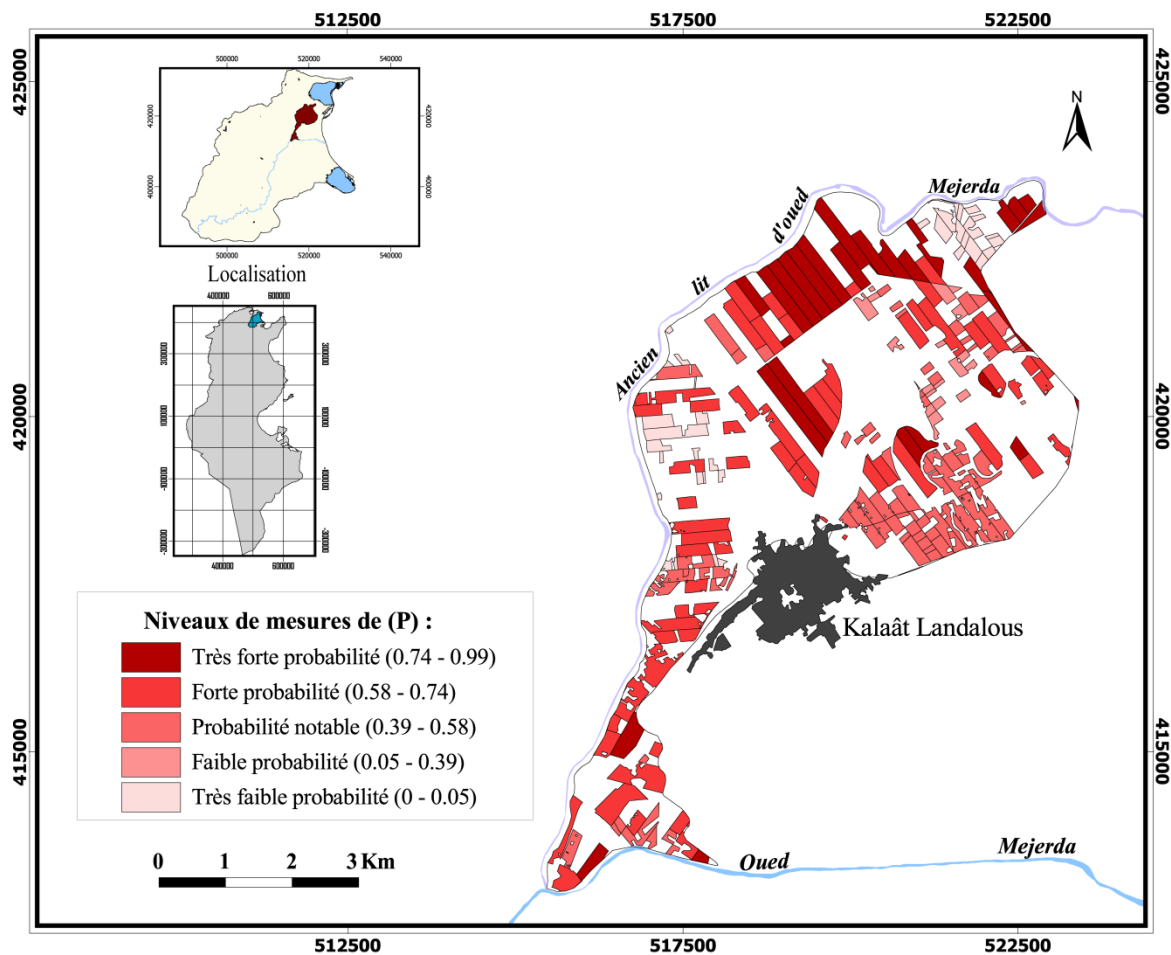
La répartition des valeurs de probabilité pignistique pour l'hypothèse « sols couverts » montre l'importance de cette classe sur le périmètre irrigué de Kalaât Landalous. En effet, près de 744 parcelles (75.6 %) d'entre elles ont des valeurs supérieures à 0,8 soit une « croyance » très forte d'être en sols couverts durant l'hiver 2008-2009 (ill. n°132).



ill. n°132 : Répartition des niveaux de probabilités pignistiques pour l'hypothèse « sols couverts » (hiver 2008-2009).

Par contre, seulement 94 parcelles sont affectées d'une faible croyance ($< 0,4$) et qui sont localisées généralement dans la partie nord du périmètre irrigué. Ce sont généralement de grandes parcelles (de 4 ha à 5 ha) caractérisées par un taux élevé de salinité et sont souvent occupées par des céréales.

Pour l'hypothèse « Sols nus à peu couverts », on remarque que les parcelles ayant une forte voir très forte probabilité d'évoluer en « sols nus à peu couverts » sont beaucoup plus nombreuses dans la partie nord du périmètre (ill. n°133). Elles sont caractérisées par des tailles importantes et de fortes occurrences de « sols nus à peu couverts » (sol nus à peu couvert durant trois hivers, ill. n°131). Au contraire, la majorité des parcelles sont concernées par de très faibles voire nulles probabilités d'évoluer en « sols nus à peu couverts » ($P < 0.005$).

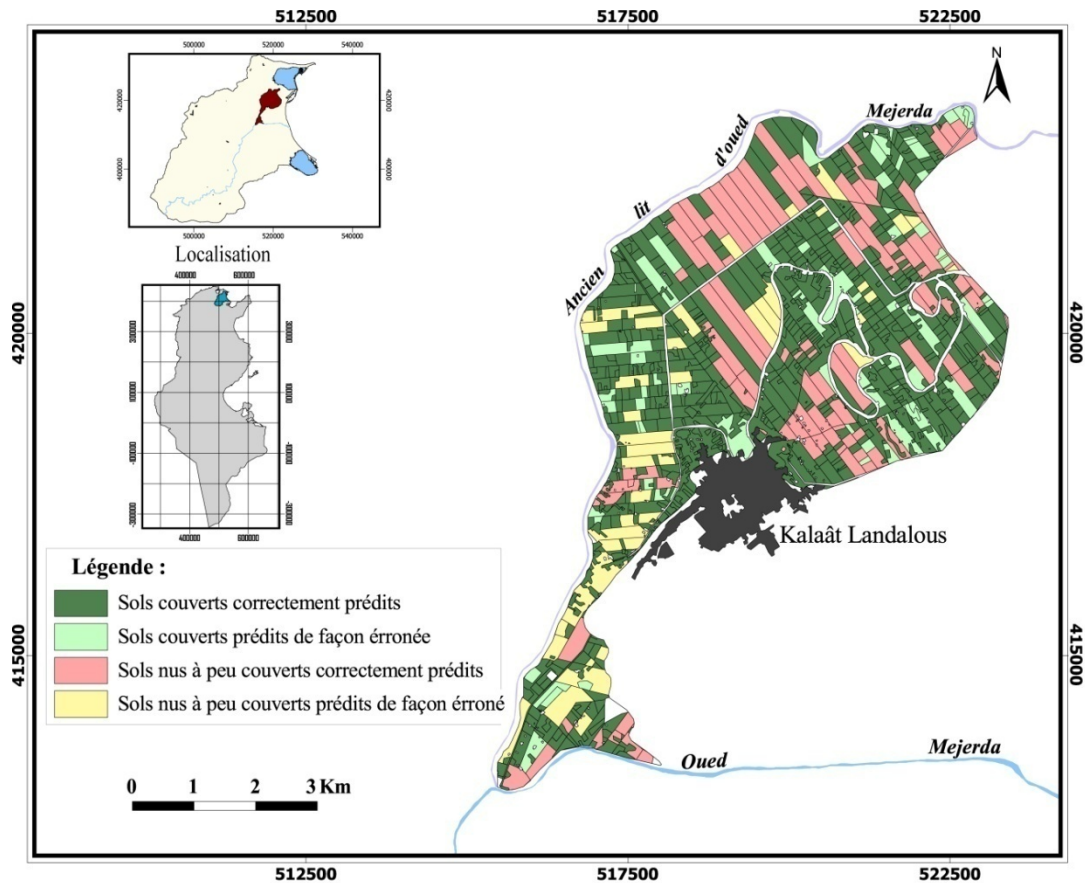


ill. n°133 : Répartition des niveaux de probabilités pignistiques pour l'hypothèse « sols nus à peu couverts » (hiver 2008-2009).

Faute de documents récents (image satellitaires, photos aériennes, plan d'occupation du sol...) et en raison de la vérification des résultats obtenus pour l'hiver 2008-2009 et de la validation du modèle appliqué, on est obligé de partir sur terrain avec le plan de PPI pendant

le mois de janvier 2009 et de vérifier les hypothèses « sols couverts » et « sols nus à peu couverts » et même vérifier le type d'occupation du sol.

L'intersection de la carte d'occupation des sols issue de la vérité terrain pour l'hiver 2008-2009 avec celle de la prédiction (probabilité pignistique pour les deux hypothèses) montre que, spatialement les erreurs de prédiction (sols couverts et sols nus à peu couverts) apparaissent homogènes sur le périmètre irrigué de Kalaât Landalous (ill. n°134).



ill. n°134 : Croisement de la vérité terrain de l'hiver 2008-2009 avec la carte de prédiction pour les hypothèses « sols couverts » et « sols nus à peu couverts ».

Généralement, on remarque que l'hypothèse « sols couverts » est la mieux prédite. En effet, cette classe couvre 84.8 % des parcelles pour l'hiver 2007-2008 et le taux de prédiction correcte s'élève à 84,5% (tableau n°26). Par conséquent, on peut dire que l'affectation des jeux de masse est pertinente pour modéliser l'évolution de l'occupation du sol pour cette hypothèse.

La prédiction de l'évolution de l'occupation du sol pour l'hypothèse « sols nus à peu couverts » est correcte jusqu'à 69.5 % (tableau n° 26). Ce résultat est satisfaisant, car il est très difficile à modéliser ce type de changement qui dépend uniquement du comportement

individuel de l'exploitant. Avec un taux de prédiction correcte de l'ordre de 79.3 % pour les deux hypothèses, la théorie des évidences peut être validée pour modéliser l'évolution de la couverture hivernale des sols (à court terme) sur le périmètre de Kalaât Landalous. Ce modèle même, a été accepté (Travaux de CORGNE S., 2004) pour simuler l'évolution des couvertures hivernales du sol sur le bassin versant du Yar (Bretagne, France), avec un taux de prédiction correcte qui ne dépasse pas 73 %.

Tableau n° 26 : Résultats du croisement de la couverture hivernale des sols (2008-2009) issues de la vérité terrain et de la prédiction avec la théorie de Dempster-Shafer.

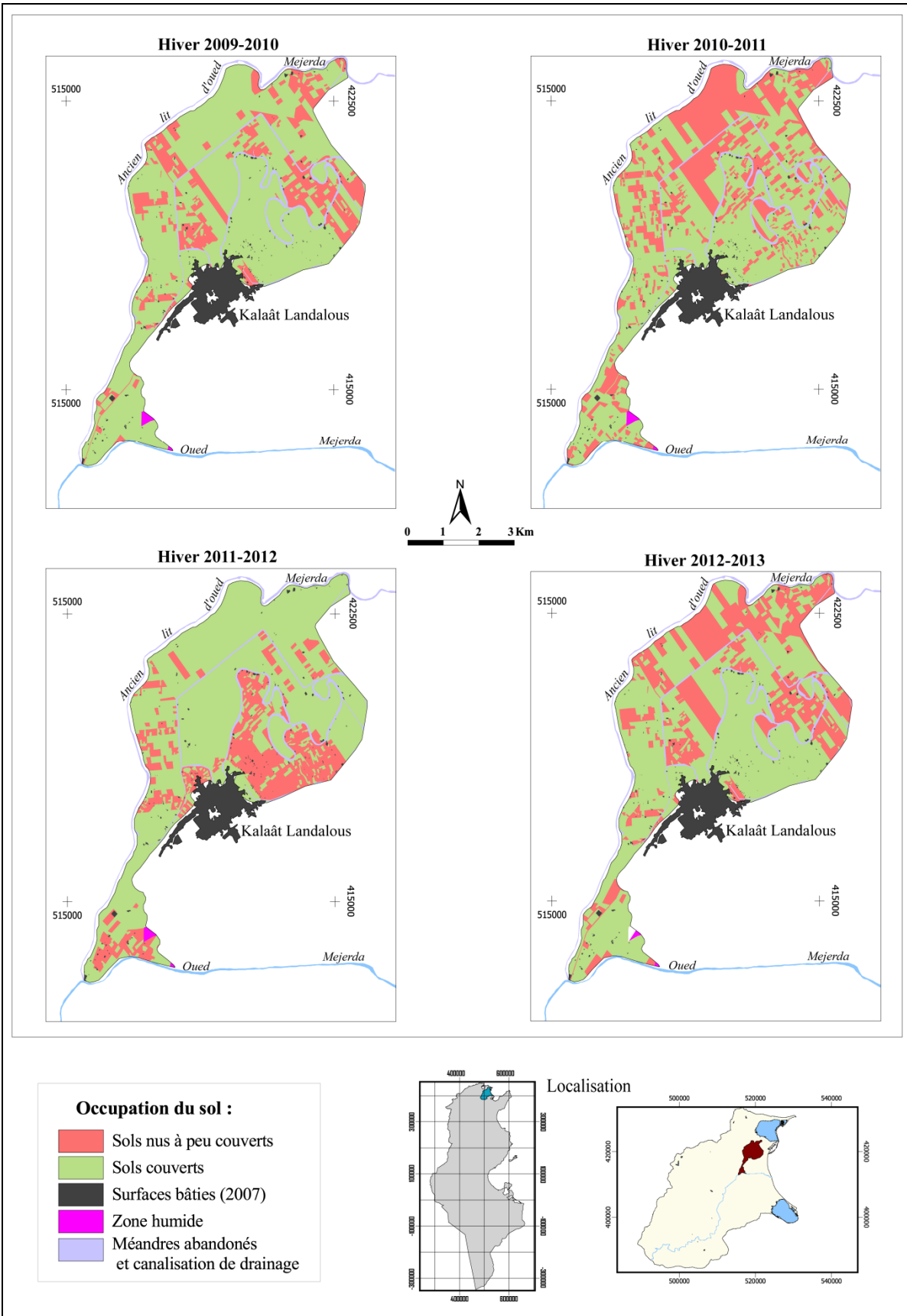
	Occupation du sol pour l'hiver 2008-2009 (vérité terrain)		Dempster-Shafer Prise de décision (probabilité pignistique)	
	Nombre de parcelle	Surface (ha)	Nombre de parcelle	Surface (ha)
Sols couverts	801	2007	733	1697 (84.5 %)
Sols nus à peu couverts	143	1053	100	732 (69.5 %)
Total	944	3060	833	2429 (79.3 %)

3.4.3. La prédiction de l'évolution des couvertures hivernales pour la période 2009-2013 :

Dans le but de prédire l'évolution des couvertures hivernales du sol sur 4 ans (de l'hiver 2009-2010 à l'hiver 2012-2013), on a intégré les résultats obtenus pour l'hiver 2008-2009 dans la règle de fusion de Dempster-Shafer (variable explicative de changement "occurrences des sols nus à peu couverts"). Les résultats obtenus figurent dans le tableau n°27, ainsi que l'illustration n° 135.

Tableau n° 27 : Résultats de la simulation des couvertures hivernales du sol avec la théorie de Dempster-Shafer pour les hivers étudiés (2009-2013).

	Hiver 2009-2010		Hiver 2010-2011		Hiver 2011-2012		Hiver 2012-2013	
	Parcelles	S (ha)	Parcelles	S (ha)	Parcelles	S (ha)	Parcelles	S (ha)
Sols couverts	760	2440 (79.7%)	524	1985 (64.9%)	750	2362 (77.2%)	728	2098 (68.5%)
Sols nus à peu couverts	184	620 (20.3%)	420	1075 (35.1%)	194	698 (22.8%)	216	962 (31.5%)
Total	944	3060	944	3060	944	3060	944	3060



ill. n°135 : Prédiction de l'évolution des couvertures hivernales du sol dans le périmètre irrigué de Kalaât Landalous (2009-2013).

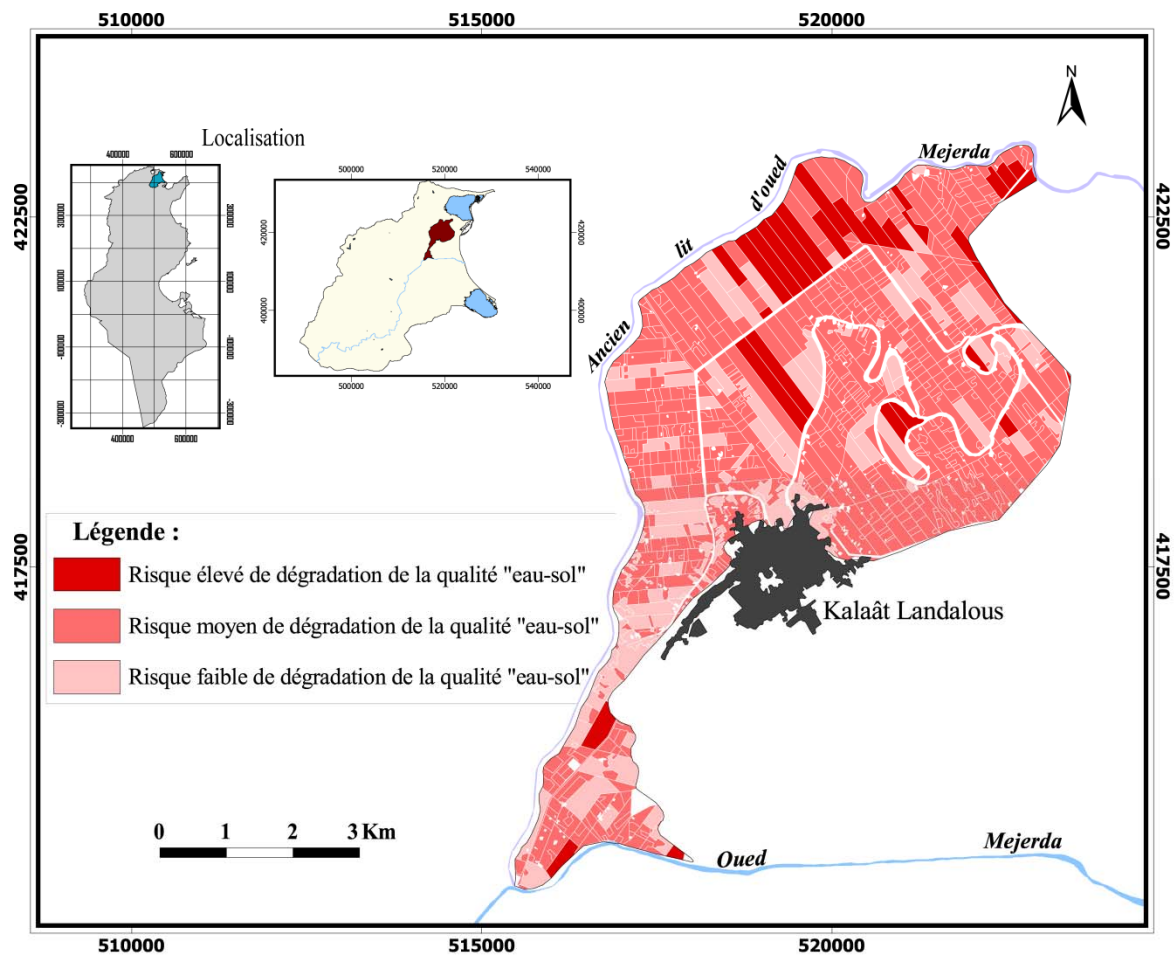
On remarque que la modélisation prédictive de la couverture hivernale des sols sur le périmètre irrigué de Kalaât Landalous en utilisant la règle de fusion de Dempster-Shafer permet de prédire près de 35.1 % (hiver 2010-2011) et 31.5 % (hiver 2012-2013) de la surface totale agricole en faveur de l'hypothèse « sols nus à peu couverts ». Spatialement, la majorité des ces terrains, se localisent dans la partie Nord du périmètre (ill. n°135).

On rappelle qu'au début de ce chapitre on a posée une problématique concernant l'influence de la succession d'états de couverts végétaux sur les parcelles en hiver. En effet, la proportion de surfaces agricoles laissées nues pour une longue période a un impact sur la qualité de l'eau (et même du sol) en faisant varier les taux de nitrates et de pesticides (excès).

Dans le contexte de restaurer la qualité « eau-sol », il est judicieux de déterminer les occurrences des « sols nus à peu couverts » pour les hivers étudiées (2009-2013) et de produire une carte de risque de dégradation de la qualité « eau-sol ». La règle de fusion de Dempster-Shafer permet de prédire près de 32 parcelles (342 ha), caractérisées par « un sol nu à peu couvert durant trois hivers » et près de 146 parcelles (668 ha) caractérisées par « un sol couvert tous les hivers » pour la période 2009-2013.

La carte de risque de dégradation de la qualité « eau-sol » déterminée à partir des occurrences, démontre trois types de parcelles :

- Des parcelles à risque élevé de dégradation de la qualité « eau-sol », qui accélèrent le transfert des flux polluants pendant l'hiver. Elles sont caractérisées par des tailles importantes (> 4 ha) et par une forte occurrence « sol nu à peu couvert durant trois hivers » (ill. n° 136). Spatialement, ces parcelles se localisent dans la partie Nord et se correspondent en grande partie à la zone à risque élevé de salinisation (ill. n° 123) déterminée par les travaux de HACHICHA M. et al., (1997). Ceci, confirme d'une part les résultats obtenus dans l'étude citée précédemment et valide d'autre part un taux élevé de prédiction correcte (4 ans) pour le modèle appliqué.
- Des parcelles à risque moyen de dégradation de la qualité « eau-sol », caractérisées généralement par de petites tailles (< 2 ha) et par un « sol nu à peu couvert durant un hiver » ou par un « sol nu à peu couvert durant deux hivers » (ill. n° 136).
- Des parcelles à risque faible de dégradation de la qualité « eau-sol », caractérisées généralement par des tailles comprises entre 2 ha et 4 ha et par une occurrence nulle puisque les sols sont couverts tous les hivers (ill. n° 136).



ill. n°136 : Risques de dégradation de la qualité « eau-sol », déterminés à partir des occurrences « sol nu à peu couvert » pour les hivers de la période 2009-2013.

Conclusion :

Les techniques et les outils de système d'information géographique utilisés dans cette étude, nous ont permis de réduire les difficultés et de gérer une telle masse d'information. Ils ont apporté une nouvelle vision pour cartographier et modéliser le devenir de l'occupation-utilisation du sol dans le delta de Mejerda. Par contre, du point de vue choix de couleurs, de symboles... les logiciels de SIG sont limités. Pour cela on fait recours à "Illustrator", afin de bénéficier d'un choix plus large.

Le prototype de la carte d'occupation-utilisation du sol qu'on a élaboré est basé sur les règles strictes de la sémiologie graphique et déduit en grande partie de celui du projet « CORINE Land Cover ». Pour sa conception, on a retenu l'échelle 1/100 000 (moyenne échelle). Ce choix, dépend essentiellement de la résolution spatiale recherchée, de l'importance de l'information à représenter et des contraintes d'impression. A travers cette échelle, il est possible également de rechercher des corrélations entre les thèmes étudiés et de

mettre l'accent sur plusieurs difficultés soulevées par l'occupation-utilisation du sol dans le delta de Mejerda.

Les problèmes soulevés par l'occupation-utilisation du sol dans le delta de Mejerda sont multiples. En premier lieu, on a insisté surtout sur les inondations catastrophiques, notamment celles de 1931, de 1973 et de 2003. En effet, elles représentent un élément principal dans l'analyse de l'évolution de l'occupation du sol. Leurs crues ont beaucoup influencé l'évolution de la morphologie paysagère dans le delta de Mejerda ; éroder des terrains de meilleure qualité, emporter les particules solides vers les dépressions fermées, engendrer des dégâts matériels assez considérables...

Ensuite, on a évoqué le problème de l'endettement des agriculteurs et la régression de la superficie de cultures irriguées. Un problème en forte corrélation avec la tarification de l'eau d'irrigation, jugée toujours élevée par les agriculteurs. Sans oublier la vétusté du réseau qui engendre beaucoup de pannes au niveau des principaux ouvrages de transfert de débit ... et les problèmes d'ordre fonciers.

Le problème de la "salinisation" notamment des nappes, nous a ramené à suivre *une approche modélisatrice*. On a choisi de simuler l'évolution à court terme de la couverture hivernale des sols sur le périmètre public irrigué de Kalaât Landalous. L'incertitude qui caractérise fortement les dynamiques spatiales des couverts hivernaux dans le delta, nous a imposé la théorie des Evidences de Dempster-Shafer. Ainsi, des prédictions de la couverture hivernale des sols sont effectuées selon les deux hypothèses « Sols couverts » et « sols nus à peu couverts ». Avec un taux de prédiction correcte de l'ordre de 79.3 % pour l'hiver 2008-2009 (pour les deux hypothèses), la théorie des évidences a été validée pour modéliser l'évolution de la couverture hivernale des sols sur le périmètre de Kalaât Landalous pour la période 2009-2013. Les erreurs de prédiction parfois importantes pour l'hypothèse « Sols nus à peu couverts », indiquent un degré élevé de conflits entre les sources d'évidence. Elles nécessitent d'être prioritairement prises en compte.

***CONCLUSION GENERALE
& PERSPECTIVES***

Conclusion et perspectives :

A la lumière de cette étude, nous avons dressé un aperçu sur la nécessité du suivi de l'évolution de l'occupation et de l'utilisation du sol de par le monde. Les différents projets présentés ont mis en évidence l'existence de plusieurs expériences au niveau national et international. On observe ainsi l'intérêt croissant accordé aux cartes de l'occupation-utilisation du sol. Elles constituent des outils indispensables notamment dans le domaine de l'aménagement de territoire. Par ailleurs, les changements d'occupation-utilisation des terres constituent un facteur-clé du développement durable. Ils modifient de façon significative les interactions terre-atmosphère, influencent la biodiversité, entraînant la dégradation de la qualité de l'eau,...

L'approche méthodologique utilisée dans cette étude implique le croisement de plusieurs sources de données (images satellitaires, extraits d'images Google Earth ©, photographies aériennes, cartes topographiques,...). Elle a prouvé la précision, la souplesse, la rentabilité et les lacunes posées par l'utilisation des images satellitaires à haute résolution. Les comptes numériques fournis par les scènes satellitaires sont efficaces pour comparer les différents états de recouvrement des sols, détecter les changements et dresser la carte d'occupation-utilisation du sol.

En revanche, l'apport de la télédétection pour spécifier la nature d'utilisation du sol et pour étudier la dynamique du littoral reste limité sans les travaux de terrain. Les erreurs d'affectation des pixels au moment de la classification représentent les lacunes de cet outil. De même, le décalage dans les dates de prise de vue des images (9 avril 1988 et 9 décembre 1999), ne permet en aucun cas l'analyse et la détection des changements pour le couvert végétal caducifolié.

Les problèmes méthodologiques soulevés sont, d'une part, l'harmonisation des données hétérogènes selon le même système de projection cartographique (Lambert Nord Tunisie) ; d'autre part, la masse importante d'informations, nécessite le recours à une généralisation cartographique adaptée à l'échelle pour la réalisation de la carte d'occupation-utilisation du sol. De même, il est judicieux de distinguer deux notions qui sont inséparables et couramment employées dans les cartes : "l'occupation du sol" et "l'utilisation du sol". La première recouvre l'aspect biophysique de la surface, la seconde s'applique aux fonctionnalités associées à ces zones.

Un intérêt particulier a été accordé à la description des différents éléments du milieu biophysique et humain, support de l'occupation-utilisation du sol. Il paraît généralement que le delta constitue, une assise écologique riche et favorable mais fragile.

L'occupation du sol dans le delta de Mejerda est le résultat d'une dynamique spatiale générée par une série de transformations historiques et socio-économiques. En effet, de multiples reconversions des activités rurales se sont produites à travers les différentes époques.

L'historique de l'occupation du sol nous apprend l'ancienneté de l'intervention de l'homme dans ces milieux. Jusqu'à une période récente, le delta de Mejerda n'a cessé d'appartenir à la mer sans aucune intervention humaine. C'est avec l'immigration morisque au début du XVII^{ème} siècle que le delta de Mejerda s'est individualisé par rapport aux autres régions telliennes. En effet, les Andalous y avaient érigé de nouvelles agglomérations sur les sites antiques en ruine, créant ainsi la première forme d'organisation régionale.

Durant la période coloniale, le delta de Mejerda a connu une véritable mutation agricole. En effet, plusieurs aménagements ont été entrepris pour la viabilisation des terrains marécageux et pour atténuer les effets des crues. La modernisation de "la petite hydraulique" et la progression de l'irrigation dans l'ensemble de la basse vallée étaient les résultats de plusieurs innovations et aménagements. Il est à signaler que cette période s'est caractérisée par une agriculture extravertie, au dépens de la production destinée à l'autoconsommation, aux dépens des spéculations traditionnelles, et surtout de l'élevage. Le projet « primeurs pour l'exportation » s'est trouvé handicapé par la concurrence des autres pays d'Afrique du Nord sur le marché métropolitain. En plus, le taux de construction de barrages durant le Protectorat français a été faible, même si leur nécessité à l'époque était claire.

L'état actuel de l'occupation-utilisation du sol et de la morphologie des paysages dans le delta de Mejerda est le résultat d'une dynamique spatiale qui s'est accélérée au cours de la deuxième moitié du XX^{ème} siècle.

Les résultats relatifs au milieu naturel, montrent que le couvert forestier a connu une extension spatiale assez rapide et importante durant la période 1950-2007. L'intervention de l'Etat indépendant s'est traduite par les travaux de Conservation des Eaux et des Sols (C.E.S.), parallèlement au reboisement des anciens domaines forestiers et au reboisement des dunes mobiles par le Pin d'Alep et d'espèces exotiques comme l'Eucalyptus. Grâce aux différentes actions pastorales, notamment la création de plusieurs prairies artificielles,

l'amélioration des clairières forestières avec l'introduction d'*Hedysarum Coronarium*, les formations pré-forestières (garrigues arborées et non arborées, maquis arborés et non arborés) ont évoluées spatialement surtout pendant la période 1974-2000.

Un intérêt particulier a été accordé à l'évolution des zones humides du delta. Les différentes planches cartographiques nous ont permis de mettre en évidence que les changements de la morphologie de ces écosystèmes sont le résultat de divers processus naturels et surtout anthropiques. Il est à remarquer que la formation de la lagune de Foug El Oued est en relation directe avec la modification de l'embouchure de l'oued Mejerda et la migration de sa flèche vers le continent. La dégradation extrême de la sebkha de l'Ariana depuis les années "1980" est une conséquence directe de l'extension urbaine et de l'accentuation des rejets industriels.

Les installations humaines (port, unités hôtelières,...) ont également un impact négatif sur la dynamique des paysages littoraux. Rappelons ici que les plages de Sidi Ali El Mekki et de Chatt El Hay sont en situation de déséquilibre. Celle de Kalaât Landalous est touchée par l'érosion sur toute sa longueur. Seule la partie occidentale de la plage de Raoued est encore en position d'abri, état favorisé par un apport alluvial assuré par l'oued Mejerda. En revanche, l'équilibre de cette plage ne tiendra pour autant face à l'extension urbaine rapide à Raoued.

L'intensification à outrance des activités agricoles et non agricoles dans le delta de Mejerda est la conséquence du passage d'une agriculture d'autosubsistance à une agriculture intensive, intégrée à l'économie de marché. L'essor de l'agriculture irriguée est le fait de l'intervention de l'Etat par le biais des différents aménagements hydrauliques. Contrairement aux périodes précédentes où l'eau représentait un obstacle et ne constituait pas une priorité, la politique agricole se résume à ce slogan : « Pas une goutte d'eau ne doit se perdre à la mer ». Par conséquent, l'intégration de la région dans le Plan Directeur des Eaux du Nord a fondé une agriculture de haute valeur et a contribué à l'essor d'un bassin irrigué qui domine en grande partie sur la couverture actuelle du sol.

Depuis 1958, l'Etat s'est chargé d'assurer et d'animer " la réforme agraire" au moyen de différents organismes notamment l'"Office de la Mise en Valeur de la Vallée de Mejerda". A partir des années « 1980 », une politique de décentralisation et de gestion communautaire a été entamée et s'est manifestée par dissolution de l'OMVVM et le renforcement des CRDA. Les petites villes ont également un rôle essentiel dans l'organisation technique et administrative de l'espace irrigué avec une certaine configuration hiérarchisée.

Durant les années 1950, l'organisation spatiale des cultures a conservé la marque de la colonisation avec une dominance des plantations viticoles et des domaines céréaliers. Aujourd'hui, on constate que le secteur irrigué conserve près de 1/3 de la surface du delta avec des plantations fruitières, des cultures maraîchères et des domaines céréaliers et fourragers parfois très vastes. La proximité de centres urbains, notamment la ville de Tunis et de son marché de consommation, la croissance démographique et l'accroissement des besoins nouveaux ont fait du delta de Mejerda, la plus grande zone de production intensive des légumes et des fruits.

Nous avons remarqué que les cultures spéculatives ont dominé l'oléiculture et la viticulture. Les vieux oliviers arrachés au début des années 1980, ont laissé la place aux spéculations fruitières (pommiers, poiriers, abricotiers...) à nature peu exigeante en eau. A juste titre, il a été démontré que les parcelles qui subsistent encore à Tebourba sont en mosaïque avec les cultures maraîchères ou l'arboriculture fruitière. Du fait du vieillissement des pieds, une politique d'arrachage a diminué amplement la superficie du vignoble.

En 2007, les spéculations fruitières sont largement représentées (36%) dans les systèmes de cultures pratiquées dans le delta de Mejerda. En effet l'essentiel des superficies qui se trouvent en amont du delta (Tebourba, Jedeïda...) est valorisé par l'arboriculture. Pour cette même date, près de 1/3 de la superficie totale des périmètres irrigués (dans la partie centrale du delta : Sidi Thabet, Cherfech...) a été consacré à la céréaliculture. Cela est dû essentiellement au dysfonctionnement du vieux réseau d'irrigation et au prix de l'eau jugé trop élevé par les agriculteurs.

Les cultures fourragères et légumineuses sont aussi largement dominantes dans le delta est en rapport direct avec les activités d'élevage intensif et d'engraissement. Ce dernier reste marginal et non organisé jusqu'à la fin de la période coloniale. Cependant, à partir des années "1960", un intérêt particulier a été accordé à l'élevage surtout bovin, le but visé est l'autosuffisance en produits laitiers. Rappelons-ici que les unités coopératives, les Sociétés de Mise en Valeur et de Développement Agricole (S.M.V.D.A) et l'intervention de l'Etat au moyen de l'amélioration des disponibilités fourragères ont contribué à l'émergence dans le delta de Mejerda d'un "bassin laitier" très organisé.

Dans certains secteurs, notamment à Ghar El Melh, l'occupation agricole du sol semble maintenir un caractère traditionnel originel, malgré les tendances à la modernisation. En effet, les micro-exploitations (Gtaïas et terrasses) constituent un moyen de régulation de l'équilibre financier pour de nombreuses familles, face aux situations de crise et à l'irrégularité de

production dans le secteur de la pêche. Alors que les grandes et les moyennes exploitations appartenant au secteur organisé « grande hydraulique ou grande irrigation » et à quelques gros exploitants dominant dans les plaines. D'une façon générale, on peut signaler que le delta est une zone de polyculture intensive caractérisée par une grande hétérogénéité foncière, résultant d'une longue interaction entre campagnes de la basse vallée et la ville de Tunis.

Jusqu'à la moitié des années « 1970 », le développement économique du delta de Mejerda a été essentiellement basé sur son importance agricole. Par la suite, la loi de décentralisation en aménagement de territoire, daté de 1978, a permis le développement de toute une armature industrielle dominée par les activités textiles, l'habillement et les activités agro-alimentaires, tandis que l'infrastructure et les activités touristiques sont encore très peu développées dans le delta de Mejerda.

L'évolution des systèmes de production vers une plus grande intensification, la faiblesse du revenu agricole notamment dans les garaâs et les zones marécageuses, l'incompatibilité des systèmes agricoles traditionnels à faible rendement avec l'économie de marché, ont transformé les fonctions de l'espace rural. Ce dernier se distingue progressivement de l'espace agricole et se trouve aujourd'hui ouvert à l'investissement intérieur et extérieur, à l'activité commerciale (les " deux hypermarchés " à Sabelet Ben Ammar...) et à l'activité audiovisuelle (les sociétés de production ; Nessma TV et Cactus prod...)...Ainsi, d'un espace exclusivement paysan, avant les années « 1960 », le delta est passé aujourd'hui à un espace plurifonctionnel caractérisé par une économie de "type diversifiée".

L'infrastructure hydraulique lourde mise en place depuis l'indépendance a transformé les petites villes en centres d'appui techniques et administratifs (CHERIF A., 1995). La diversification de leurs activités a joué un rôle déterminant dans l'organisation de l'espace et a constitué un facteur d'attraction de la population. Toutefois, l'expansion rapide de l'espace bâti et des nouvelles activités est négative, dans la mesure où la progression d'une urbanisation non planifiée concurrence dangereusement l'agriculture intensive "périurbaine" (notamment à Sidi Thabet et à Tebourba), la plus productive et la plus rentable de la région. Parallèlement, les aménagements et les interventions sont parfois inadéquats au sein des zones à risque d'inondation et de stagnation d'eau (Garaâs).

A travers cette étude, nous avons élaboré un prototype de carte d'occupation-utilisation du sol basé sur les règles strictes de la sémiologie graphique et déduit de celui du projet « *CORINE Land Cover* ». On a retenu l'échelle 1/100 000 (moyenne échelle) pour la

conception de ce prototype. Ce choix s'explique par les contraintes d'impression et par le niveau de détails de la base de données réalisée.

Il apparaît que les techniques des systèmes d'informations géographiques utilisées ont réduit les difficultés de gestion inhérentes à la masse d'informations. Ils ont apporté un nouvel éclairage dans la cartographie et la modélisation du devenir de l'occupation-utilisation des sols. En effet, la prédiction de l'évolution à court terme de la couverture hivernale des sols sur le périmètre public irrigué de Kalaât Landalous avec la théorie des Evidences de Dempster-Shafer reposait sur la nécessité de définir, d'analyser et de comprendre les dynamiques qui composent et structurent ce singulier type d'occupation et d'utilisation du sol aux limites spatiales et temporelles floues. La nature du problème imposait ainsi de privilégier ***une approche modélisatrice de type approximative***, où l'incertitude qui caractérise fortement les dynamiques spatiales des couverts hivernaux dans le delta doit être prise en compte tout au long du processus de modélisation jusqu'aux résultats.

Des prédictions de la couverture hivernale des sols ont été effectuées selon les deux hypothèses « sols couverts » et « sols nus à peu couverts ». Avec un taux de prédiction correct de l'ordre de 79.3 % pour l'hiver 2008-2009 pour les deux hypothèses, la théorie des évidences a été validée pour modéliser l'évolution de la couverture hivernale des sols dans le périmètre de Kalaât Landalous pour la période 2009-2013. Les résultats montrent que près de 1/3 de la surface totale du périmètre est en faveur de l'hypothèse « sols nus à peu couverts » pour la période 2009-2013. Spatialement, la majorité de ces terrains se localisent dans la partie nord du périmètre. Avec une forte occurrence (sols nus à peu couverts), ils sont exposés aux risques de salinisation et de dégradation de la qualité "eau-sol".

S'il ne représente pas l'unique cause des erreurs de prédiction parfois importantes comme pour l'hypothèse « Sols nus à peu couverts », ***le degré élevé de conflits entre les sources d'évidence nécessite d'être prioritairement pris en compte***. En effet, il touche une large majorité des parcelles étudiées où certaines sources d'informations s'avèrent parfois même contradictoires, dans le sens où elles peuvent soutenir plusieurs hypothèses. Des travaux sont encore nécessaires pour améliorer les résultats obtenus, principalement par un choix plus efficace des outils et des méthodes mais aussi par des recherches plus approfondies.

Les résultats présentés dans cette thèse constituent, de ce fait, un premier pas vers une meilleure connaissance de la dynamique de l'occupation-utilisation du sol dans le delta de Mejerda. Nous avons désormais une idée, certes modeste et pas encore mature mais déjà

considérable sur l'avenir de la zone. L'évolution de l'occupation-utilisation du sol dans le delta de Mejerda dépendra encore plus des besoins de Tunis, des organismes tunisois et des investissements extérieurs sous l'effet de la mondialisation de l'économie. Cette hypothèse n'est qu'une porte vers d'autres projets de recherche que nous comptons poursuivre dans un futur proche.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) ABDALLAH H. (2007)- Impacts des communautés paysannes sur la forêt et ses marges steppiques dans le secteur de Soughas (Ennadhour-Zaghouan) ; Mémoire de mastère, Faculté des Lettres, des Arts et des Humanités de la Manouba, 156 p.
- (2) AGARWAL C. G., GREEN M., GROVE J. M., EVANS T. et SCHWEIK C. (2000)- A review and assessment of land-use change models : dynamics of space, time, and human choice»; Fourth International Conference on Integrating GIS and Environmental Modeling (GIS/EM4), Banff, Canada.
- (3) AGGREY A. & HUNTER GARY J. (2002)- Responding to the consequences of uncertainty in geographical data; International Journal Information Science, Vol. 16, n°5, pp 405-417.
- (4) ALCAMO J. (1994)- IMAGE 2.0: Integrated Modeling of Global Climate Change; Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Germany, 122 p.
- (5) ANPE (2006)- Rapport d'activités ; 223 p.
- (6) ARNOULD P. & HOTYAT M. (2003)- Eau et environnement : Tunisie et milieux méditerranéens ; Paris, ENS Editions, 204 p.
- (7) AUGT (2006)- Etude de l'habitat en dehors des plans d'aménagement urbain approuvés dans le Grand Tunis ; Rapport final, 55p.
- (8) AYACHI S. (2004)- Approche géomatique de l'évolution des zones humides et du trait de côte dans la région du complexe lagunaire de Ghar El Melh ; Mémoire de DEA, Faculté des Lettres, des Arts et des Humanités de la Manouba, 128 p.
- (9) BABBOU A. CH, DARRAGI F. et ADDAD A. (2006)- Etude minéralogique et géochimique d'une carotte de la sebkha d'Ariana ; Revue Méditerranéenne de l'environnement, pp 160-169.
- (10) BACHMANN A. & ALLGÖWER B. (2002)- Uncertainty propagation in winland fire behavior modeling; International Journal Geographical Information Science, Vol. 16, n°2, pp 115-127.
- (11) BALLING R. G., TABER J. T., BROWN M. et DAY K. (1999)- Multi-objective urban planning using a genetic algorithm; ASCE Journal of Urban Planning and Development, Vol. 125, n°2, pp 86-99.
- (12) BANCAREL S. (2002)- Apport des SIG et de la télédétection à la détermination d'unités dynamiques des paysages, études des formations végétales et de leurs modalités d'occupation de l'espace : cas du causse du Larzac ; Rapport du Mastère SILAT, Montpellier, 45p.

- (13) BARBERY J. & DEL HUMEAU M. (1979)- Notice de la carte de ressources en sols de la Tunisie, feuille de Bizerte au 1/200000 ; ORSTOM, 35 p.
- (14) BELHARETH T. (1990)- Le transport collectif dans les grandes villes tunisiennes, Sousse, Sfax et Tunis ; (Thèse de troisième cycle soutenu en 1987 et partiellement mise à jour en 1990), Publications de la Faculté des Lettres de la Manouba, 337 p.
- (15) BELHEDI A. (1998)- Repères pour l'analyse de l'espace ; Cahiers de CERES Tunis, série de Géographie, n°19, 459 p.
- (16) BEN AYED N., (1993)- Evolution tectonique de l'avant-pays de la chaîne alpine de Tunisie du début du Mésozoïque à l'actuel ; Thèse d'Etat, éditions du service géologique de Tunisie (ONM), 286 p.
- (17) BEN BOUBKER H. & HENIA L. (2008)- Le vent en hiver, le vent en été ; Atlas de l'eau, pp. 38-41.
- (18) BEN BOUBKER H. (2000)- Les gradients climatiques en Tunisie : application à la température et de la pluie ; Publications de la Faculté des Lettres de la Manouba. 324 p.
- (19) BEN SALEM M (1996)- Le Sahel de Bizerte : cartographie de l'occupation du sol et de sa dynamique ; Thèse de D.R.A, Faculté des Sciences Humaines et Sociales de Tunis, 238 p.
- (20) BEN SLAMA A. (2004)- Les inondations de 2003 et leurs impacts sur l'agriculture ; Actes du séminaire de Rabat "modernisation de la culture irriguée" – Projet INCO-WADMED, 17 p.
- (21) BERTIN J. (1967)- Sémiologie graphique : les diagrammes, les réseaux et les cartes ; Editions MOUTON, Paris- La Haye, 407 p.
- (22) BERTIN J. (1977)- La graphique et traitement graphique de l'information ; Editions FLAMMARION, Paris, 278 p.
- (23) BOHNET D. (1994)- Implantation d'un système d'information géographique dans un organisme de développement régional agricole dans le Nord de la Tunisie ; CRDA de Bizerte, CÉRÈS, ISBN : 9973-9735-3-4, 235 p.
- (24) BONN F. (1996)- Précis de télédétection ; Vol. 2, applications thématiques, chapitre 13 : utilisation du sol urbain et périurbain, Sainte-Foy, pp. 478-532.
- (25) BONNIARD F. (1934)- La Tunisie du Nord : le Tell septentrional, étude de géographie régionale ; Editions Paul GEUTNER, Paris, 533 p.

- (26) BOUCHOUICHA S. (2004)- Etude hydrogéologique de la nappe Utique-Aousja vulnérabilité et établissement des périmètres de protection ; Mémoire de DEA en géologie appliqué, Faculté des Sciences de Bizerte, 79 p. + annexe.
- (27) BOUHAFI T. (1985)- Erosion et protection des plages du golfe de Tunis ; Mémoire de DEA, Faculté des Sciences Humaines et Sociales de Tunis, 100 p.
- (28) BRACKER H. (1996)- Utilisation de la théorie de Dempster/Shafer pour la classification d'images satellitaires à l'aide de données multi-sources et multitemporelles ; Thèse de l'université de Rennes I, 178 p.
- (29) BRAHMI N. (2006)- Contribution à l'étude des zones à risque de prolifération des Aèdes dans les zones humides de Bizerte : application de l'approche géomatique ; Mémoire de mastère, Faculté des Lettres des Arts et des Humanités de la Manouba, 144 p.
- (30) BRIASSOULIS H. (1999)- Analysis of Land Use Change: Theoretical and Modeling Approaches The Web Book of Regional Science; Regional Research Institute, WestVirg.Univ.[http://www.rri.wvu.edu/WebBook/Briassoulis/Chapter2\(Histoverview\).htm](http://www.rri.wvu.edu/WebBook/Briassoulis/Chapter2(Histoverview).htm)
- (31) CADIC B. & CLOAREC J-C. (1976)- Avant projet de mise en valeur de la plaine de Galaat El Andaleuss ; Etude préliminaire, 83 p.
- (32) CASATANY G. (1965)- Essai de synthèse géologique du territoire Tubisie Sicile ; Annales des Mines et de la Géologie, n° 16, 101 p.
- (33) CECCHINI A. (1996)- A cellular automaton and some specialized automata for urban modeling; A review, Environment and planning B, Vol. 23, n°4, pp. 721-732.
- (34) CGDR (2007)- Le gouvernorat de Bizerte en Chiffres ; 93 p. (en arabe).
- (35) CGDR (2007)- Le gouvernorat de l'Ariana en Chiffres ; 72 p. (en arabe).
- (36) CGDR (2007)- Le gouvernorat de la Manouba en Chiffres ; 101 p. (en arabe).
- (37) CHAABANI A. (2009)- Changements du secteur viticole en Tunisie et leurs impacts géographiques ; Thèse « déposée », Faculté des Sciences Humaines et Sociales de Tunis, 518 p. (en arabe)
- (38) CHAIZE-AUCLAIR M. (1996)- Enjeux fonciers et dynamiques sociales dans les zones steppiques du monde arabe ; Mémoire de DEA, Université François Rabelais de Tours, 38p.
- (39) CHAMUSSY H., CHARRE J., DUMOLARD P., DURAND M.G. et LE BERRE M. (1994)- Initiation aux pratiques statistiques en géographie ; Paris, Masson, 203 p.

- (40) CHELBI F., PASKOFF R. & TROUSSET P. (1995)- La baie d'Utique et son évolution depuis l'Antiquité : une réévaluation géoarchéologique ; Paris, Antiquités Africaines n° 31, p7-51.
- (41) CHENNOUFI S. (1981)- Les conditions sociologiques du succès d'une réforme agraire : Le cas de la Basse-Vallée de Mejerdah en Tunisie ; Thèse de doctorat de 3^{ème} cycle, Université de Toulouse - Le Mirail, 278 p.
- (42) CHERIF A. (1993)- La situation démographique dans la basse vallée de la Mejerda au milieu du XIXème siècle, in la démographie historique en Tunisie et dans le monde Arabe ; CERES production - ISEFC, 276 p.
- (43) CHERIF A. (1993)- Le système pêche-agriculture : permanences et ruptures, l'exemple de Ghar El Melh ; Département de géographie, Faculté des Lettres de la Manouba, pp. 35-60.
- (44) CHERIF A. (1994)- Du développement local au développement par l'Etat ; la basse vallée de Mejerda ; Revue Peuples Méditerranéens, n° 72-73, pp. 67-93.
- (45) CHERIF A. (1995)- Circuits de commercialisation et systèmes de production dans les périmètres irrigués de la Tunisie du Nord : cas du périmètre de Jedeïda (basse vallée de la Mejerda) ; Recherche sur le Maghreb contemporain, ALIF, les éditions de la Méditerranée et l'IRMC, vol.1, pp. 192-216.
- (46) CHERIF A. (1998)- Eau et espace dans la basse vallée de la Mejerda : approche diachronique ; Cahiers de SERES, série géographie, n° 20, pp. 101-129.
- (47) CHERIF A. (2008)- Mobilisation et transfert de l'eau ; Atlas de l'eau, pp. 94-97.
- (48) CHERIF A., (1999)- Terroirs et dynamiques paysannes en Tunisie : Aousja (Sahel de Bizerte) ; in les Cahiers du CREAD, n° 48, pp. 23-36.
- (49) CHERIF M. (1999)- L'irrigation et l'organisation de l'espace rural : l'exemple des réseaux du collecte de lait dans la basse vallée de la Mejerda ; Mémoire de DEA, Faculté des Sciences Humaines et Sociales de Tunis, 193 p. (en arabe)
- (50) CHUVIECO E. (1993)- Integration of linear programming and GIS for land-use modeling; International Journal of Geographical Information Systems, Vol. 7, pp 71-83.
- (51) CLAUDE J., FRANCILLON G., et LOYER J. Y. (1977)- Les alluvions déposées par l'oued Medjerda lors de la crue exceptionnelle de mars 1973 ; Cahiers ORSTOM, sér. Hydrol., vol. XIV, n°1, pp 37-109.

- (52) CORGNE S. (2004)- Modélisation prédictive de l'occupation des sols en contexte agricole intensif : application à la couverture hivernale des sols en Bretagne ; Thèse de doctorat, Université de Rennes 2 – Haute – Bretagne, 230p.
- (53) CRDA de Bizerte (2006)- Plan stratégique pour la promotion des périmètres irrigués ; Rapport final, 86 p. (en arabe).
- (54) CRDA de l'Ariana (2007)- Rapport d'activités ; 119 p. (en arabe).
- (55) CRDA de l'Ariana (2009)- Les périmètres irrigués : spéculations et rentabilité économique ; Rapport de synthèse, 98 p. (en arabe).
- (56) CRDA de Manouba & BICHE (2006)- Etude de la tarification de l'eau d'irrigation les PPI de la basse vallée de la Medjerda du gouvernorat de Manouba ; 1^{ère} phase, analyse diagnostic de la situation actuelle, 149p.
- (57) CTV de Kalaât Landalous (2008)- Rapport d'activités ; 83 p.
- (58) CTV de Kalaât Landalous (2009)- Programme structural de la promotion des PPI : Rapport de synthèse, 144 p.
- (59) DALLE C. (2001)- Agriculture, forêt et paysages ; Revue, Aménagement et nature, n°141, ISSN0044-7463, 127 p.
- (60) DEGRANDI G.F., MAYAUX P., MALINGREAU J.P., ROSENQVIST A., SAATCHI S. et SIMARD M. (2000)- New perspectives on global ecosystems from wide-area radar mosaics flooded forest mapping in the tropics ; International Journal of Remote Sensing, n°21, pp. 1093-1114.
- (61) DESPOIS J. (1955)- La Tunisie orientale, Sahel et basses Steppes ; Editions Armand Colin, Paris, 554 p.
- (62) DESPOIS J. (1961)- La Tunisie, ses régions ; Editions Armand Colin, Paris, 224 p.
- (63) DEZERT J. (2003)- Fondations pour une nouvelle théorie du raisonnement plausible et paradoxal. Application à la fusion d'informations incertaines et conflictuelles ; Rapport technique, ONERA, 76 p.
- (64) DGBGTH-MARH (2006)- Données numériques ; les barrages de la Tunisie (CD-ROM).
- (65) DGRE (2006)- Données numériques (brutes).
- (66) DHIEB M. (2002)- Information Géographique et Aménagement du territoire : les raisons d'une nécessaire complémentarité ; Revue Tunisienne de Géographie, n° 33, 31 p.
- (67) DGF (1995)- Résultats du premier inventaire forestier national en Tunisie ; Ministère de l'agriculture, 88 p.
- (68) EASTMAN R. (1999)- Guide to GIS and Image Processing; Clark University, Worcester, MA. 128 p.

- (69) EL GAROUANI A., (1995)- Estimation et cartographie de l'évapotranspiration réelle par télédétection et systèmes d'informations géographiques : contribution à l'étude hydrogéologique de la basse vallée de la Medjerda ; Thèse de doctorat, option hydrogéologie et télédétection, Faculté des Sciences Mathématiques Physiques et Naturelles de Tunis, 150 p.
- (70) EL GAROUANI A., JABRANE R., BOUSSEMA M. R. & MERZOUK A., (1999)- Contribution de l'imagerie satellitaire à la détection des zones saturées et au zonage de l'évapotranspiration dans la basse vallée de la Medjerda (Tunisie) ; Cahiers Sécheresse, vol. 10, n°2, pp 177-182.
- (71) EL HAMROUNI A. (1985)- Végétation forestière et pré forestières de la Tunisie : typologie et éléments pour la gestion ; Bibl. I.R.A. 150 p. + annexes.
- (72) FEHRI N. (2007)- Les rapports entre les processus morphogéniques et les pratiques agropastorales dans la plaine oléicole de Sfax : exemple du bassin versant de l'oued Chaâl-Tarfaoui (Tunisie centro-orientale) ; Publication de la Faculté des Lettres, des Arts et des Humanités de la Manouba, 368 p.
- (73) FEHRI N., SAMAALI H. et ABAZA K. (2009)- Les inondations catastrophiques du 13 octobre 2007 dans le secteur de Sabbelet Ben Ammar : entre aléa climatique et responsabilité anthropique ; Revue Tunisienne de Géographie, n° 40, pp. 31-55.
- (74) FINIELZ H., LUZI R., TRON M. (1949)- La mise en valeur de la basse vallée de la Medjerdah par l'irrigation ; Tunis, Ministère de l'agriculture, Direction des sols, 79 p.
- (75) FISHER G. & SUN L.X. (2001)- Model based analysis of future land use development in China; A Review Agriculture, Ecosystems and Environment, Vol. 85, pp 163-175.
- (76) FRANCHOMME M. (2002)- Surveillance par télédétections des évolutions de la couverture végétale en zone côtière méditerranéenne de Tunisie ; Mémoire de maîtrise, Université des Sciences et Technologies de Lille, 100 p.
- (77) FROLOVA M. (2000)- La paysage des géographes russes : l'évolution du regard géographique entre le XIX^{ème} et le XX^{ème} siècle ; Revue Electronique Cybergéo, n°143, pp 1-18.
- (78) GANZALEZ M. (2001)- Périurbanisation et métropolisation en Espagne ; BRG, n°1. 221 p.
- (79) GEORGE P. & VERGER F. (1970)- Dictionnaire de la géographie ; Editions PUF, 499 p.

- (80) GILBERT N. et TROITZSCH K. G. (1999)- Simulation for the Social Scientist; Open University Press, London, UK. 101 p.
- (81) GINESTOUS P. (1955)- Bizerte et l'histoire ; Bulletin Economique et Sociale de la Tunisie, n°100, pp. 89-118.
- (82) GIRARD M.C. & GIRARD C. M. (1999)- Traitement des données de télédétection ; Paris, 524 p.
- (83) GOOVAERTS P. (2002)- Geostatistical modelling of spatial uncertainty using p-field simulation with conditional probability fields; International Journal Geographical Information Science, vol. 16, n° 2, pp 167-178.
- (84) GUERFI N., (2000)- Hydrogéologie de la nappe de Ghar El Melh ; Mémoire de fin d'étude, Ingénieur en Géosciences, option eau, Faculté des Sciences de Tunis, 50 p.
- (85) GUERIN V. (1862)- Voyages archéologiques dans la Régence de Tunis ; Editions Plon, tome II, 395p.
- (86) GUEYE SEYE A. (1998)- Les Paysages et les Peuples du Niokholo, contribution à l'étude des comportements humains face au milieu naturel (Sénégal Oriental) ; ORSTOM & LEDRA, Thèse de géographie, Université de Rouen, 540 p.
- (87) HABANE A. (2004)- L'impact des barrages dans le bassin versant de la Majerda (Tunisie), au niveau du trait de côte ; Mémoire de maîtrise, Université Paris X-Nanterre, 105 p.
- (88) HACHICHA M., M'HIRI A., BOUKSILA F., et BACH HAMBIA I. (1997)- Variabilité et répartition de l'argile et de la salinité dans le périmètre de Kalaât Landelous (Tunisie) : application à l'évaluation des risques de salinisation ; Etude de gestion des sols, 4, 1, pp. 55-63.
- (89) HENIA L. & BENZARTI Z. (2008)- Les nappes phréatiques et les nappes profondes ; Atlas de l'eau, pp. 58-65.
- (90) HENIA L. & HLAOUI Z. (2008)- Les grands barrages ; Atlas de l'eau, pp. 92-93.
- (91) HENRY J.B. (2004)- Systèmes d'information spatiaux pour la gestion du risque d'inondation de plaine ; Thèse de doctorat, Université Luis Pasteur-Strasbourg I, 142 p.
- (92) HEUVELINK GERARD B.M. & BURROUGH P.A. (2002)- Guest Editorial, Developments in statistical approaches to spatial uncertainty and its propagation; International Journal Geographical Information Science, Vol. 16, n°2, pp 111-113.

- (93) HOUET T. (2006)- Occupation des sols et gestion de l'eau : modélisation prospective en paysage agricole fragmenté (Application au SAGE du Blavet) ; Thèse de doctorat, Université Rennes 2, 368 p.
- (94) HSINI B., (2004)- Le Quaternaire autour de Garaât El Mabtouha : Agencement des dépôts ; Mémoire de maîtrise, unité de recherche géomatique des géosystèmes, Faculté des Lettres, des Arts et des Humanités de la Manouba, 40 p.
- (95) HUBERT-MOY L., COTONNEC A., LE DU L., CHARDIN A. et PEREZ P. (2001)- A comparison of classification procedures of remotely sensed data applied on different landscape units ; Remote Sensing of Environment, ed, Elsevier, vol. 75, n°2, pp 174-187.
- (96) INM (2006)- Données numériques (brutes).
- (97) INM (2008)- Données numériques (brutes).
- (98) INS (2005)- Recensement général de la population et de l'habitat en Tunisie (2004) ; Rapport préliminaire, 167 p. (en arabe).
- (99) JAUZEIN A. (1967)- Contribution à l'étude géologique des confins de la dorsale tunisienne ; Annales des Mines et de la Géologie, n° 22, 470 p.
- (100) JOLY F. (1976)- La cartographie ; Editions PUF, Paris, 271 p.
- (101) KAROUI N. (1973)- Ghar El Melh 'Port admirable' et village paisible ; Revue Tunisienne de Sciences Sociales n° 3 2-33-34-35, pp. 201-223.
- (102) KERGOMARD C. (1990)- Résolution spatiale et niveaux d'échelle dans l'observation satellitaire des glaces marines ; Revue Photo-interprétation, n°5, p 3-7.
- (103) LAGABRIELLE E. (2003)- Télédétection des changements et SIG : application à l'étude de l'évolution des modes d'occupation des sols à la Réunion entre 1989 et 2002 ; Mastère SILAT, 47 p.
- (104) LAMBIN E. F. & STRAHLER A. H. (1994)- Change-vector analysis in multitemporal space: a tool to detect and categorize land-cover change processes using high temporal-resolution satellite data ; Remote Sensing of Environment, Vol. 48, n°2, pp. 231-244.
- (105) LEDUC F., SOLAIMAN B. et CAVAYAS F. (2001)- Combinaison of fuzzy sets and Dempster-Shafer theories in forest map updating using multispectral data, sensor fusion, SPIE ; Vol. 4385, Orlando, USA, pp. 323-334.
- (106) LI H. & REYNOLDS J. F. (1997)- Modeling effects of spatial pattern, drought, and grazing on rates of rangeland degradation: a combined Markov and cellular

- automaton approach ; in *Scale in Remote Sensing and GIS*, Publishers, New York, pp. 211-230.
- (107) MANSOURI – MENAOUAR R. (1979)- Contribution à l'étude de la sédimentation littorale historique et actuelle au voisinage du delta de la Medjerda. (Etude du lac de Ghar-El-Melh et de la Sebka de l'Ariana) ; Thèse de doctorat, Université de Bordeaux, 301 p.
- (108) MARH (2008)- Inventaire forestier et pastoral national en Tunisie ; Bulletin de l'ONAGRI, n° 119, 6 p.
- (109) MEAT (1998)- Schéma National d'Aménagement de territoire ; Rapport de deuxième phase, objectifs et orientations. 388 p.
- (110) MEHAT & SCET (1996)- Autoroute Tunis-Bizerte : étude d'impact ; 112 p.
- (111) MERTENS B. & LAMBIN E. F. (1997)- Spatial modeling of deforestation in southern Cameroun ; A review, *Applied Geography*, Vol. 17, n°2, pp. 143-162.
- (112) Ministère de l'Agriculture & AGRAR-UND HYDROTECHNIK GMBH (1993)- Economie d'eau 2000 : mesure et coûts pour l'amélioration de la gestion de l'eau ; Rapport préliminaire, 159 p.
- (113) Ministère de l'Agriculture & AHT (1998)- Projet hydro-agricole de Galaat Andalous – Ras Djebel : étude sur la filtration et la qualité de l'eau ; Rapport principal, APS – salinité, 145 p.
- (114) MOISAN Y. & BERNIER M. & DUBOIS J.M.M. (1999)- Détection des changements dans une série d'images ERS-1 multitudes à l'aide de l'analyse en composantes principales ; *International Journal of Remote Sensing*, vol. 20, n°6, pp. 1149-1167.
- (115) NABLI M. A. (1995)- Essai de synthèse sur la végétation et la phyto-écologie tunisienne ; Publications la Faculté des Sciences de Tunis.
- (116) NASR M. (2007)- Elaboration d'un prototype de carte de l'occupation du sol pour le Grand Sfax ; Mémoire de mastère, Faculté des Lettres, des Arts et des Humanités de la Manouba, 149 p.
- (117) NOUICER K. (1990)- Le déficit alimentaire dans la Tunisie : facteurs et conséquences ; Col. "Le déficit alimentaire dans la Tunisie verte", Edi. CERES, pp. 11-65. (en arabe)
- (118) OJIMA D., & MORAN E. (2004)- *Global Land Project Draft Science Plan* ; 93 p.
- (119) OMRANE M. N. (1982)- Les possibilités de la cartographie d'occupation du sol par l'exploitation des images satellites : exemple de la région de Tunis Bizerte ; *Revue S.S. n° 70/71*, pp. 111-142.

- (120) OMRANE M. N. (1977)- Photo-interprétation et cartographie de la morphologie des activités de Hammam-lif ; Thèse de 3^{ème} cycle, Paris VII, 245 p.
- (121) OMVVM (1960)- Mejerda ; 134 p.
- (122) OMVVM (1972)- La mise en valeur de la basse vallée de la Medjerda ; Options méditerranéennes, n°16, pp. 49-58.
- (123) OUESLATI A. (1999)- Les inondations en Tunisie ; Impression d'ORBUS, 206 p.
- (124) OUESLATI A. (2004)- Littoral et l'aménagement en Tunisie ; Publications de la Faculté des Sciences Humaines et Sociales de Tunis, 534 p.
- (125) OUESLATI A., CHARFI F. et BACCAR F. (2006)- Présentation d'un site tunisien : la basse vallée de Oued Mejerda et la Lagune de Ghar El Melh ; Document préparé par l'équipe tunisienne, projet Wadi, 25 p.
- (126) PARKER D.C., MANSON S. M., JANSSEN M. A., HOFFMANN M. J. et DEADMAN P. (2003)- Multi-Agent Systems for the Simulation of Land-Use and Land-Cover Change; A Review, Annals of the Association of American Geographers, Vol. 93, n°2, pp 316-340.
- (127) PASKOFF R. & TROUSSET P. (1992)- L'ancienne Baie d'Utique : du témoignage des textes à celui des images satellitaires ; Revue MAPPE MONDE, n°1, pp 30-34.
- (128) PASKOFF R. (1978)- Evolution de l'embouchure de la Medjerda (Tunisie) Revue Photo-interprétation, n°5, pp. 1-6.
- (129) PASKOFF R. (1985)- Les littoraux, impact des aménagements sur leur évolution ; Editions ARMAND COLIN, Paris, 260 p.
- (130) PELLISSIER P. (1984)- Le développement rural en question : paysages, espaces ruraux, systèmes agraires ; Publications ORSTOM, Paris, 178 p.
- (131) PELLISSIER E. (1853)- Description de la Régence de Tunis ; Tunis-Paris, 336 p.
- (132) PIMIENTA J. (1955)- Le cycle pliocène actuel dans les bassins paraliques de Tunisie ; Mémoire. Soc. Géol, 176 p (1959, nouv. Série :Thèse Doct. T. XXXVIII, n°85).
- (133) PODAIRE A. (2003)- Informations sur le projet Changement d'Utilisation et de Couverture des Sols (Land-Use and Land-Cover Change : LUCC) ; Revue Electronique CYBERGEO, n° 180, 6p.
- (134) PONCET J. (1962)- Paysages et problèmes ruraux en Tunisie ; Mémoire du Centre d'Etudes de Sciences Humaines, vol. III, Université de Tunis, 374 p.

- (135) PONTIUS R.G. & SCHNEIDER L. (2001)- Land-use change model validation by a ROC method ; *A Review Agriculture, Ecosystems and Environment*, Vol. 85, (1-3), pp 239-248.
- (136) RABIA M.C. (1998)- Systèmes d'informations géo-scientifiques et télédétection multi-capteurs : Application à une étude multi-thèmes de la Jeffara orientale ; Thèse, Faculté des Sciences de Tunis, 320 p.
- (137) RAHMOUNE BAUDU L. (2007)- Nouveau rôle de l'Etat dans la gestion des périmètres publics irrigués : Soutien aux associations d'irrigants, exemple du delta de la Medjerda en Tunisie ; Actes de l'atelier de Montpellier sur les périmètres irrigués, 22-23 janvier 2001, 17 p.
- (138) ROBIN M. (2002)- Télédétection ; des satellites aux SIG », publications NATHAN, 2^{ème} édition, 246 p.
- (139) ROMDHANE M. S. (1985)- Lagune de Ghar El Melh : milieu, peuplement et exploitation ; Thèse I.N.A.T., 157 p.
- (140) SAMAALI H. (2004)- Impact de l'autoroute Tunis-Bizerte sur le paysage : application de l'approche géomatique à certains points clés ; Mémoire de D.E.A., Faculté des Lettres, des Arts et des Humanités de la Manouba, 121p.
- (141) SETHOM H. & KASSAB A. (1981)- Les régions géographiques de la Tunisie ; Publications de l'Université de Tunis, 460 p.
- (142) SETHOM H. (1992)- L'Industrie et le Tourisme en Tunisie : étude de géographie du développement ; Faculté des sciences Humaines et Sociales de Tunis, 635 p.
- (143) SETHOM H. (1992)- Pouvoir urbain et paysannerie en Tunisie ; Editions CERES, production FNRS, 393 p.
- (144) SFAR FALFOUL F. (1998)- Etude de l'évolution naturelle du système actuel de la sebkha d'Ariana : apport de la télédétection et des systèmes d'informations géographiques ; Mémoire de DEA, Faculté des Sciences de Tunis, 163 p.
- (144) SHAFER G. (1976)- *A Mathematical Theory of Evidence*; Princeton University Press, 299 p.
- (145) SIDES & Ministère de l'Equipement et de l'Habitat (1997)- Stratégie urbaine : politique de la ville ; Rapport de synthèse-URBAPLAN, 82 p.
- (146) SIGNOLES P. (1985)- L'espace tunisien : capital et Etat région ; URBAMA, Tours, t1 t2, 1041 p.

- (147) SINGH A. & HARRISON A. (1985)- Standardized principal components ; International Journal of Remote Sensing, vol. 6, n°6, pp. 883-896.
- (148) SKLAR F. H. & COSTANZA R. (1991)- The development of dynamic spatial models for landscape ecology; A review and prognosis, Quantitative Methods in Landscape Ecology. 98 p.
- (149) SLAMA F., BAHRI A., BOUARFA S., CHAUMONT C., et BOUHLILA R. (2004)- Pratiques d'irrigation et rôle du drainage pour le contrôle de la salinité : cas du périmètre irrigué de Kalaât Landelous en Tunisie ; Actes du séminaire de Rabat "modernisation de la culture irrigué" – Projet INCO-WADMED, 7 p.
- (150) SMETS P. (1990)- Constructing the pignistic probability function in a context of uncertainty; in Uncertainty in Artificial Intelligence 5, Eds., North Holland, Amsterdam, pp 29-40.
- (151) STEINBERG J. (1996)- Cartographie : pratique pour la géographie et l'aménagement ; Editions SEDES, 130 p.
- (152) STRUGO N. (1955)- La mise en valeur de la valeur de la vallée de Médjerda ; BEST, n°102, pp. 49-95.
- (153) STUDI (Ingénieurs Consultes) (2007)- Etude du plan directeur des ports de pêche : diagnostic de la situation actuelle du port de pêche de Ghar El Melh ; 8 p.
- (154) STUDI (Ingénieurs Consultes) (2007)- Etude du plan directeur des ports de pêche : diagnostic de la situation actuelle du Site abri du port de pêche côtière de Kalaât Landalous ; 14 p.
- (155) SUDANO J. (2002)- Inverse pignistic Probability Transforms; Proceedings of the 5th International Conference of Information Fusion, (Fusion 2002), Annapolis, MD, USA, pp. 1277-2183.
- (156) TALBI M. (1982)- Etudes d'histoire Ifriqiyenne et de civilisation musulmane médiévale ; FLSH, pp. 185-229.
- (157) VELDKAMP A. & LAMBIN E.F. (2001)- Predicting land-use change ; Agriculture, Ecosystems and Environment, Vol. 85, n°1-3, pp. 1-6.
- (158) VELDKAMP A., FRESCO L. O., (1996)- CLUE: a conceptual model to study the conversion of land use and its effects ; Ecological Modelling, Vol. 85, n° 2/3, pp. 253-270.

- (159) VERBURG P.H., SCHOT T., DIJST M. et VEDKAMP A. (2004)- Land Use Change Modeling: current practice and research priorities ; Ecological Modelling, Vol. 99, n° 4, pp. 176-199.
- (160) VIBERT J. (1960)- Tableau de l'économie tunisienne ; BEST, n°105, pp. 30-112.
- (161) VIGNEAU J.P. (1996)- L'eau atmosphérique et continentale ; Paris, éditions SEDES, 191 p.
- (162) WOOLDRIDGE M., (1999)- Intelligent Agents. In Multiagent Systems: a Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence ; MIT Press, Cambridge, MA, pp. 27-77.
- (163) YAGER R. (1986)- A general approach to decision making with evidential knowledge ; A Review, Elsevier Science Publishers B.V., pp. 317-327.
- (164) YENGUI T. (2006)- Elaboration d'un prototype de carte des dynamiques de la population et du bâti dans le Grand Sfax : cas de la feuille topographique n°107 ; Sfax Nord-Ouest ; Mémoire de mastère, Faculté des Lettres, des Arts et des Humanités de Manouba, 132 p.
- (165) ZANIN C. & TREMELO M.-L. (2003)- Savoir faire une carte : aide à la conception et à la réalisation d'une carte thématique univariées ; Imp. CHIRAT (France), 199 p.

• *Références internet*

- <http://www.geomatic-2.com/>
- <http://www.ird.org/>
- <http://www.ngi.be/>
- <http://www.slaw.unblog.fr>
- <http://www.slaw.unblog.fr>
- <http://www.spot4.fr/>
- <http://www.babnet.net/rtdetail-12621.asp>
- Le serveur Google Earth.

• ***Couvertures aériennes :***

- Photos aériennes 1948-1949 (quelques secteurs du delta de Mejerda). (OTC)
- Photos aériennes 1962-1963 (le littoral du delta). (OTC)
- Photos aériennes 1974 (± la totalité du delta). (OTC)
- Les orthophotos 2000 (± la totalité du delta). (CNT)

• ***Images satellitaires***

- Une image Spot/XS (09-04-1988), Ecole Normale Supérieure de Paris (ISIS-CNES).
- Une image Spot/XS (09-12-1999), Ecole Normale Supérieure de Paris (ISIS-CNES).
- Une image Spot/XS (15-12-2002), Unité de recherche "Géomatique des géosystèmes "(02/UR/10-01), Faculté des Lettres, des Arts et des Humanités de la Manouba.
- Une image Spot/XS (décembre 2000), CNT-Tunis.
- Une image Spot/XS (décembre 2000), CNT-Tunis.

• ***Cartes :***

- La carte des régions naturelles au 1/200000 (DIMANCHE, 1985 pour le Nord et LE HOUEROU, 1959, pour le Centre et le Sud (imprimée à l'OTC, 1987).
- La carte des ressources en eau au 1/200000, feuille de Tunis (Ministère de l'Agriculture).
- La carte topographique de Tunis-Bizerte au 1/200000 (MEHAT et OTC, 1999).
- La carte géologique de Bizerte (feuille n°II), au 1/200000, réalisée par TERMIER P., MOURGNON P. et BERTHON L. en 1922.
- La carte des étages bioclimatiques de la Tunisie (GOUNOT M. et LE HOUEROU H.N. 1955).
- La carte phyto-écologique de la Tunisie septentrionale (feuille n°II, Tunis-Bizerte), au 1/200000.
- Les cartes topographiques de Porto Farina, de Metline, de l'Ariana, de Menzel Bourguiba, de Mateur, de Tebourba, d'El Marsa et de Tunis au 1/50000.
- Les cartes topographiques de Ghar El Melh, de Metline, de l'Ariana, de Menzel Bourguiba, de Mateur, de Tebourba, d'El Marsa et de Tunis au 1/25000.

- Carte de répartition des lacs collinaires en Tunisie au 1/500000 (DEROUICHE M.C./MAERH, 2004).
- Carte de végétation de la Tunisie au 1/ 2000000 (GAMMAR A.M.).

TABLE DES ILLUSTRATIONS

1	Le delta de Mejerda : localisation et délimitation.....	5
2	Organigramme méthodologique.....	11
3	Le delta de Mejerda à la fin de l'antiquité.....	18
4	Schéma du delta actuel	19
5	Les principaux aménagements hydrauliques réalisés dans la plaine deltaïque de l'oued Mejerda jusqu'à l'indépendance.....	29
6	L'hypsométrie du delta de Mejerda.....	32
7	Cartes des pentes dans le delta de Mejerda.....	33
8	Esquisse géologique du delta de Mejerda.....	35
9	Localisation géographique des Jebels limitant le delta de Mejerda.....	37
10	Carte d'exposition des versants dans le delta de Mejerda.....	40
11	Diagramme des moyennes des précipitations mensuelles entre 1987 et 2004, dans quelques stations du delta de Mejerda.....	41
12	Précipitations moyennes annuelles entre 1996 et 2001 dans le delta de Mejerda.....	42
13	Les caractéristiques climatiques de la station de Ghar El Melh.....	43
14	Moyennes de l'évapotranspiration annuelle (potentielle) entre 1981 et 2006, dans quelques stations de la Tunisie du Nord.....	44
15	Roses des vents de la station de Bizerte et Tunis-Carthage montrant, la vitesse et la direction du vent entre 1995 et 2007.....	45
16	Les étages bioclimatiques du delta de Mejerda.....	46
17	Le réseau hydrographique du delta de Mejerda.....	48
18	Coefficient mensuel de débit calculé à la station de Jedeïda entre 1984 et 2005.....	49
19	Les nappes phréatiques du delta de Mejerda et les rejets industriels.....	52
20	Carte pédologique du delta de Mejerda.....	55
21	La carte phytoécologique du delta de Mejerda.....	58
22	Distribution de la population dans le delta de Mejerda en 2004.....	60
23	Le bassin versant de Mejerda : Quelques barrages réalisés et programmés.....	63
24	Evolution du débit annuel moyen de l'oued Mejerda à la station de surveillance de Jedeïda entre 1976 et 2005.....	65
25	Les différents aménagements hydrauliques du le delta de Mejerda.....	66
26	Représentation schématique des échelles de temps et d'espaces auxquels les modes d'occupation et d'utilisation des sols sont étudiés par la télédétection.....	72
27	Schéma simplifié de la chaîne de traitement des images.....	73
28	Modèle utilisé pour la correction géométrique des images.....	74
29	Localisation des zones « teste » pour l'établissement de la classification supervisée.....	78
30	Principe de l'ACP multi-dates pour la détection des changements.....	80
31	Composition colorée issue de la combinaison de ACP1 + ACP2 + XS1 de l'image Spot/XS de 1999.....	81
32	Nomenclature retenue après regroupements thématiques opérés sur la classification supervisée par « maximum de vraisemblance ».....	82
33	Classification supervisée de l'image Spot (1988) selon la méthode de «maximum de vraisemblance».....	83
34	Classification supervisée de l'image Spot (1999) selon la méthode de «maximum de vraisemblance».....	84
35	Visualisation de la classe «forêt» et masque des autres classes.....	87
36	Visualisation de la classe «forêt» et masque des autres classes.....	88
37	Détection de l'évolution du couvert forestier entre 1988 et 1999.....	88
38	La base de données ortho-photos 2000, traitée par le CNT.....	91
39	Mosaïquage et géoréférencement de la couverture aérienne 1974.....	92
40	Zones d'échantillonnage dans la zone d'étude.....	93
41	La carte d'occupation et d'utilisation du sol pour le Sahel de Bizerte.....	98
42	La carte d'occupation de District Meuse (Belgique): exemple d'une échelle détaillée.....	101
43	Modèle paysager des années '1940'.....	102
44	Niveaux d'organisation des composantes géographiques.....	103

45	Les environs nord de la ville de Kalaât Landalous : Un essai de segmentation.....	104
46	Les régions géographiques de la Tunisie.....	105
47	Typologie des paysages du delta de Mejerda.....	107
48	Evolution du couvert forestier du delta de Mejerda entre 1950 et 1982.....	114
49	Evolution du couvert forestier du delta de Mejerda entre 1982 et 2007.....	119
50	La dynamique de la végétation du domaine méditerranéen.....	120
51	Evolution du couvert pré-forestier entre 1982 et 2007.....	121
52	Caractérisation des formations pré-forestières dans le delta de Mejerda.....	122
53	La flèche de Foum El Oued : plus d'un demi-siècle d'évolution.....	125
54	La situation de la flèche de Foum El Oued en 2002.....	126
55	La flèche de Foum El Oued : plus d'un siècle d'évolution.....	126
56	La plage de Kalaât Landalous : soixante ans d'évolution.....	129
57	La nouvelle embouchure de l'oued Mejerda : plus d'un demi siècle d'évolution.....	132
58	La plage de Raoued : une évolution assez remarquable après les années 1980.....	134
59	Les différents changements de la plage de Sidi Ali El Mekki et de Chatt El Hay suite, à la réalisation du port de pêche en 1974.....	136
60	Dominance des zones humides dans le centre et dans le littoral du delta de Mejerda.....	137
61	Le complexe lagunaire de Ghar El Melh : Localisation et délimitation.....	139
62	Evolution de la morphologie de sebkhat Sidi Bahroun entre 1948 et 2002.....	141
63	Evolution de l'espace bâti dans les environs de sebkhat Ariana depuis les années « 80 ».....	143
64	La garaâ d'El Mabtouha : localisation et hypsométrie.....	145
65	Evolution du système de drainage à garaât El Mabtouha.....	147
66	Evolution de la superficie des cultures annuelles sèches en fonction de celles des cultures irriguées et des arbres fruitiers entre 1950 et 2007.....	152
67	Répartition des cultures annuelles sèches dans le delta de Mejerda en 2007.....	153
68	Rendement moyen de quelques spéculations dans le delta de Mejerda, le Nord, le Centre et le Sud de la Tunisie.....	155
69	Evolution des superficies réservées à l'olivier dans le delta de Mejerda entre 1950 et 1974.....	157
70	Evolution des superficies réservées à l'olivier dans le delta de Mejerda entre 1974 et 2007.....	159
71	Evolution des parcelles réservées à la viticulture dans le delta de Mejerda entre 1950 et 1974.....	161
72	Evolution des parcelles réservées à la viticulture dans le delta de Mejerda entre 1974 et 2007.....	162
73	Evolution des superficies réservées à la viticulture dans les principaux Henchirs du delta de Mejerda entre 1950 et 2007.....	163
74	Schéma topologique du système hydraulique interconnecté du Nord de la Tunisie.....	168
75	Evolution des superficies cultivés en irrigué dans le delta de Mejerda.....	169
76	Répartition des périmètres irrigués du delta de Mejerda selon l'origine des eaux.....	172
77	Répartition des canaux de drainage et d'irrigation dans le lotissement de Hbibia Nord...	175
78	Le delta de Mejerda : répartition des périmètres irrigués.....	179
79	Occupation du sol dans les périmètres irrigués du delta de Mejerda en 1974.....	181
80	Occupation du sol dans les périmètres irrigués du delta de Mejerda en 2007.....	182
81	Evolution de la superficie d'arboriculture dans le delta de Mejerda entre 1974 et 2007.....	183
82	Comparaison des proportions de l'occupation du sol d'après les données INFOTEL 1999 et la classification supervisée de l'image Spot/XS 1999.....	186
83	Typologie des périmètres irrigués du delta de Mejerda.....	188
84	Ocupation du sol des périmètres irrigués de la Manouba en 2005.....	189
85	Classification des cultures maraîchères en irrigué de la Manouba par ordre d'importance.....	190
86	Evolution du système de culture au secteur de Hammed entre 1950 et 2007.....	192

87	Evolution de l'occupation du sol dans le périmètre de Hammed entre 1950 et 1974.....	193
88	L'occupation du sol dans le périmètre irrigué de Hammed en 2007.....	194
89	Recensement du cheptel des périmètres irrigués de la basse vallée en 1960.....	199
90	Les principaux flux laitiers du delta de Mejerda.....	203
91	Evolution du prix de lait dans le delta de Mejerda.....	204
92	Répartition des effectifs ovins/bovins dans le delta de Mejerda en 2007.....	207
93	Plan du port de pêche de Ghar El Melh.....	212
94	Extension spatiale des différentes agglomérations du delta entre 1950 et 2007.....	221
95	Les caractéristiques de l'extension spatiale de la ville de Ghar El Melh entre 1950 et 2007.....	223
96	Les caractéristiques de l'extension spatiale de la ville de Kalaât Landalous entre 1950 et 2007.....	224
97	Les caractéristiques de l'extension spatiale de la ville de Tebourba entre 1950 et 2007...	225
98	Méthodologie pour l'étude de la dynamique urbaine de la ville de Aousja entre 1988 et 1999.....	227
99	Une croissance galopante de la population du delta entre 1954 et 2004.....	229
100	Evolution du prix des terrains à KalaâtLandalous et à Tebourba entre le début des années "1980" et l'an "2007".....	230
101	Le réseau routier du delta de Mejerda.....	232
102	La ville de Tebourba: Une extension spatiale s'est faite essentiellement au dépens de l'oliveraie.....	233
103	Typologie du bâti dans le tissu urbain de Tebourba.....	235
104	Répartition des logements du delta de Mejerda selon le nombre de pièces.....	236
105	L'armature industrielle du delta de Mejerda.....	238
106	Exemple d'application de la méthode par bandes alternées.....	246
107	Estimation des terrains inondés par les crues de 1931, de 1973 et de 2003.....	257
108	Rôle des aménagements anthropiques dans l'aggravation des inondations du 13 octobre 2007 dans le secteur de Sabelet Ben Ammar.....	260
109	Schéma du modèle salinité : Valeurs moyennes octobre 1991-septembre 1997.....	264
110	Evolution du tarif de l'eau d'irrigation des périmètres publics approvisionnés par les eaux du Nord.....	269
111	La carte des iso-prix dans delta de Mejerda au début des années 1980 (terrains irrigués).....	277
112	La carte des iso-prix dans delta de Mejerda en 2007 (terrains irrigués).....	278
113	La carte des iso-prix dans delta de Mejerda au début des années 1980 (terrains non-irrigués).....	279
114	La carte des iso-prix dans delta de Mejerda en 2007(terrains non-irrigués).....	279
115	Causes et conséquences des changements d'occupation-utilisation des sols.....	284
116	Prise en compte de l'incertitude dans un processus de modélisation d'un phénomène....	287
117	Sous-ensemble d'un cadre de discernement Θ composé de trois hypothèses A, B et C....	290
118	Exemple de fusion de données avec la théorie de Dempster-Shafer.....	294
119	Le périmètre public irrigué de Kalaât Landalous : Localisation et délimitation.....	295
120	Les unités texturales de la plaine de Kalaât Landalous.....	296
121	La perméabilité des sols de la plaine de Kalaât Landalous.....	297
122	Situation de la nappe de Kalaât Landalous en hiver (1990-2002).....	297
123	Les zones à risque de salinisation dans la plaine de Kalaât Landalous.....	298
124	Les différents aménagements hydrauliques dans les périmètres irrigués de Kalaât Landalous.....	299
125	Méthodologie du processus de modélisation prédictive de la couverture hivernale des sols appliquée sur le périmètre irrigué de Kalaât Landalous.....	301
126	Méthodologie de l'analyse des vecteurs de changements (AVC) calculés entre deux hivers.....	303
127	Evolution des niveaux de changement de couverture des sols entre les hivers étudiés (1999-2002).....	305
128	Répartition des surfaces cultivées dans le périmètre public irrigué de Kalaât Landalous...	307

129	Taux d'utilisation et d'intensification des sols dans le périmètre public irrigué de Kalaât Landalous.....	307
130	Occupation du sol hiver 2007-2008.....	308
131	Occurrence des "sols nus à peu couverts" pour les hivers étudiés (1999-2002 et 2007-2008) dans le périmètre irrigué de Kalaât Landalous.....	309
132	Répartition des niveaux de probabilités pignistiques pour l'hypothèse « sols couverts » (hiver 2008-2009).....	312
133	Répartition des niveaux de probabilités pignistiques pour l'hypothèse « sols nus à peu couverts » (hiver 2008-2009).....	313
134	Croisement de la vérité terrain de l'hiver 2008-2009 avec la carte de prédiction pour les hypothèses « sols couverts » et « sols nus à peu couverts ».....	314
135	Prédiction de l'évolution des couvertures hivernales du sol dans le périmètre irrigué de Kalaât Landalous (2009-2013).....	316
136	Risques de dégradation de la qualité « eau-sol », déterminés à partir des occurrences « sol nu à peu couvert » pour les hivers de la période 2009-2013.....	318

TABLE DES TABLEAUX

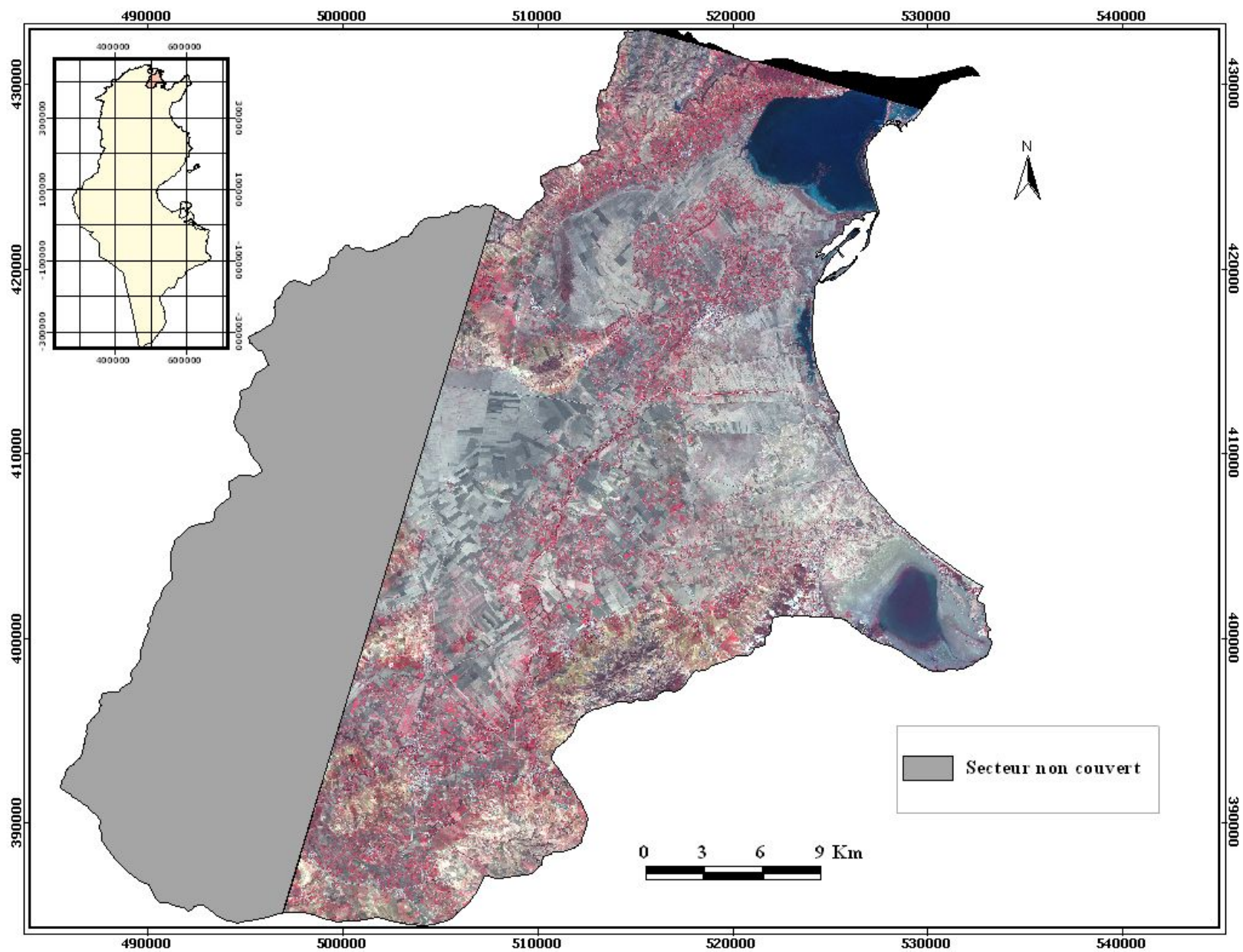
1	Précipitations moyennes annuelles de différentes stations du delta de Mejerda.....	41
2	Caractéristique de quelques nappes phréatiques du delta de Mejerda.....	50
3	Caractéristiques techniques et géographiques des images retenues.....	71
4	Matrice de confusion de la classification de l'image Spot/XS 1988.....	85
5	Matrice de confusion de la classification de l'image Spot/XS 1999.....	86
6	Quelques couches constitutives du SIG réalisé pour le delta.....	94
7	Les dates seuils et les sources d'informations pour la détection des changements dans l'occupation-utilisation du sol.....	95
8	Critères et indicateurs retenus pour la segmentation du delta de Mejerda.....	106
9	Caractéristiques des unités paysagères.....	108
10	Evolution de la charge des cheptels à l'hectare.....	116
11	Les rendements des principales cultures maraîchères dans les périmètres du gouvernorat de Manouba.....	191
12	Classification des exploitations par strate.....	192
13	L'élevage bovin laitier dans quelques Cellules Territoriales de Vulgarisation (C.T.V) en 1996.....	202
14	Surfaces occupées par les cultures fourragères dans quelques périmètres irrigués du delta de Mejerda.....	205
15	Situation juridique et structure des entrepôts frigorifiques de la basse vallée jusqu'à 1995.....	216
16	Répartition des industries dans le delta de Mejerda selon le domaine d'activité et la délégation.....	239
17	Répartition des surfaces moyennes de quelques périmètres irrigués du delta de Mejerda (%) dans les 4 classes de risque de salinisation.....	262
18	Durée d'irrigation (en années) pour atteindre le seuil critique de teneur en sel de 4 dS/m.....	265
19	Composition du rejet liquide d'une tannerie (zone industrielle d'Utique).	267
20	Données utilisées dans le cadre du processus de modélisation prédictive de la couverture hivernale des sols sur le périmètre irrigué de Kalaât Landalous.....	300
21	Estimation des modifications de couverture des sols entre les hivers 2001/2002 et 2002/2003 par l'analyse des vecteurs de changements.....	304
22	Calendrier agricole pour une succession culturale de type "étendu" sur deux ans.....	306
23	Calendrier agricole pour une succession culturale de type "diversifié" sur trois ans.....	306
24	Répartition des parcelles agricoles du PPI de Kalaât Landalous en fonction des classes ou des seuils retenus pour les variables explicatives des changements.....	310
25	Affectation des jeux de masse pour chaque hypothèse.....	311
26	Résultats du croisement de la couverture hivernale des sols (2008-2009) issues de la vérité terrain et de la prédiction avec la théorie de Dempster-Shafer.....	315
27	Résultats de la simulation des couvertures hivernales du sol avec la théorie de Dempster-Shafer pour les hivers étudiés (2009-2013).....	315

TABLE DES PHOTOS

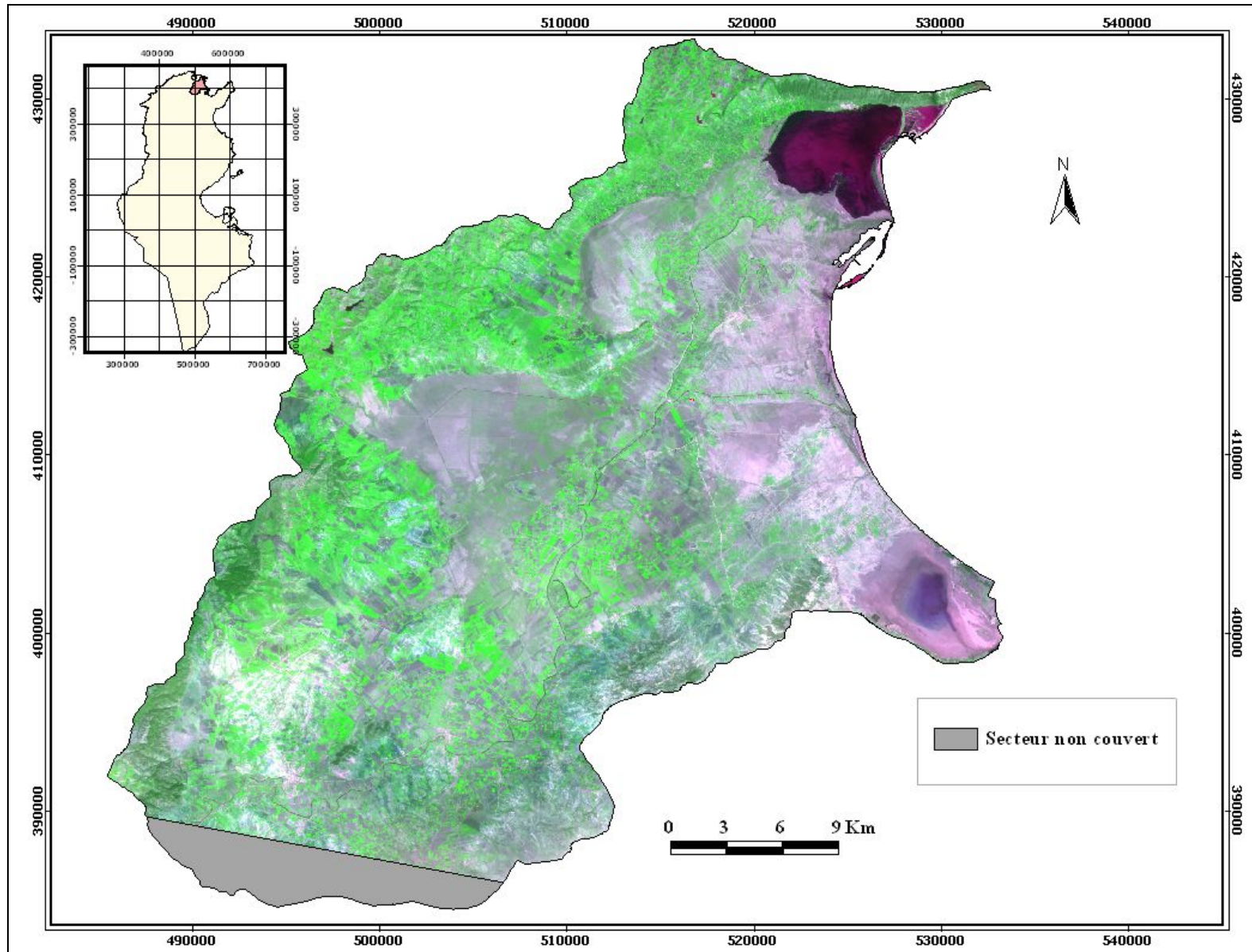
1	Méandre abandonné dans la basse vallée de Mejerda.....	20
2	Le pont-barrage d'El Battan construit au début du XVII ^{ème} siècle n'assure aujourd'hui que sa première fonction.....	26
3	Mosaïque entre l'oléiculture et les cultures en irrigués dans les environs de barrage Laroussia.....	77
4	Forêt de Pin d'Alep à Jebel Laroussia, (Ouest de Tebourba).....	77
5	L'émissaire de henchir Tobias au sud Kalaât Landalous, Constitue le lit actuel d'oued Mejerda.....	77
6	La lagune de Ghar El Melh et ses environs, un exemple de zone humide littorale.....	77
7	Plantation de l'Eucalyptus afin de protéger les sols de part et d'autre de l'oued Mejerda en cas de débordement.....	115
8	Plantation d'Eucalyptus afin d'amortir les effets de débordements de l'oued Mejerda en cas d'inondation.....	117
9	La pointe sud de la flèche de Foum El Oued : Une position à presque 35 m du rivage....	128
10	La route de Kalaât Landalous est attaquée par les vagues et représente ainsi un indicateur d'ordre anthropique qui témoigne du recul du trait de côte.....	130
11	Plusieurs constructions à Raoued sont installées sur une nappe affleurante.....	133
12	L'effet barrage de l'autoroute favorise l'extension des crues vers le Sud de garaât El Mabtouha au dépend des terrains cultivables.....	148
13	La semence d'orge au début du mois de décembre dans les environs Est de garaât El Mabtouha.....	154
14	L'orge constitue un pâturage riche pour les bovins : le cas d'Utique Ejdida.....	155
15	Exemple d'un canal quaternaire en ciment à Cherfech 1.....	171
16,	Quelques variété (pommiers, poiriers, abricotiers...) dominant l'arboriculture dans le delta de Mejerda.....	
19	184
20,	Quelques spéculations qui caractérisent le maraîchage dans le delta de Mejerda.....	
22	185
23	Ilot gagné sur la rive Nord de la lagune de Ghar El Melh.....	198
24	Les vaches de race sélectionnée dominant, les cheptels du delta de Mejerda : Le cas de Douar El Maâfrine près de Chaouât.....	201
25	Les étables de la société de l'élevage ovin et bovin « Errahmania » à Chaouât.....	208
26	L'ancien port de Ghar El Melh.....	210
27	Vue aérienne du site abri du port de pêche de Kalaât Landalous.....	213
28	Digue principale d'accès au port de Kalaât Landalous.....	213
29	Les différentes usines dominant la partie Ouest de la zone industrielle d'Utique.....	237
30	Extension du bâti dans les secteurs inondables à Kalaât Landalous.....	255
31	Agriculteur retirant les blocs de limons après la crue de mars 1973.....	258
32	Couche de limons et d'argiles déposée lors de la crue de mars 1973.....	259
33	Puits colmaté par les alluvions de la crue de mars 1973.....	259
34	Ampleur des eaux usées stagnantes dans la zone industrielle d'Utique.....	267
35	Les lotissements résidentiels "Cité Thameur" et "El Madina El Jadida" à Raoued.....	275
36	Bricorama-Tunisie : Chantier de finalisation.....	276
37	Maquette représentative du projet "Bled El Ward" sur la sebkha de l'Ariana.....	276

ANNEXE I

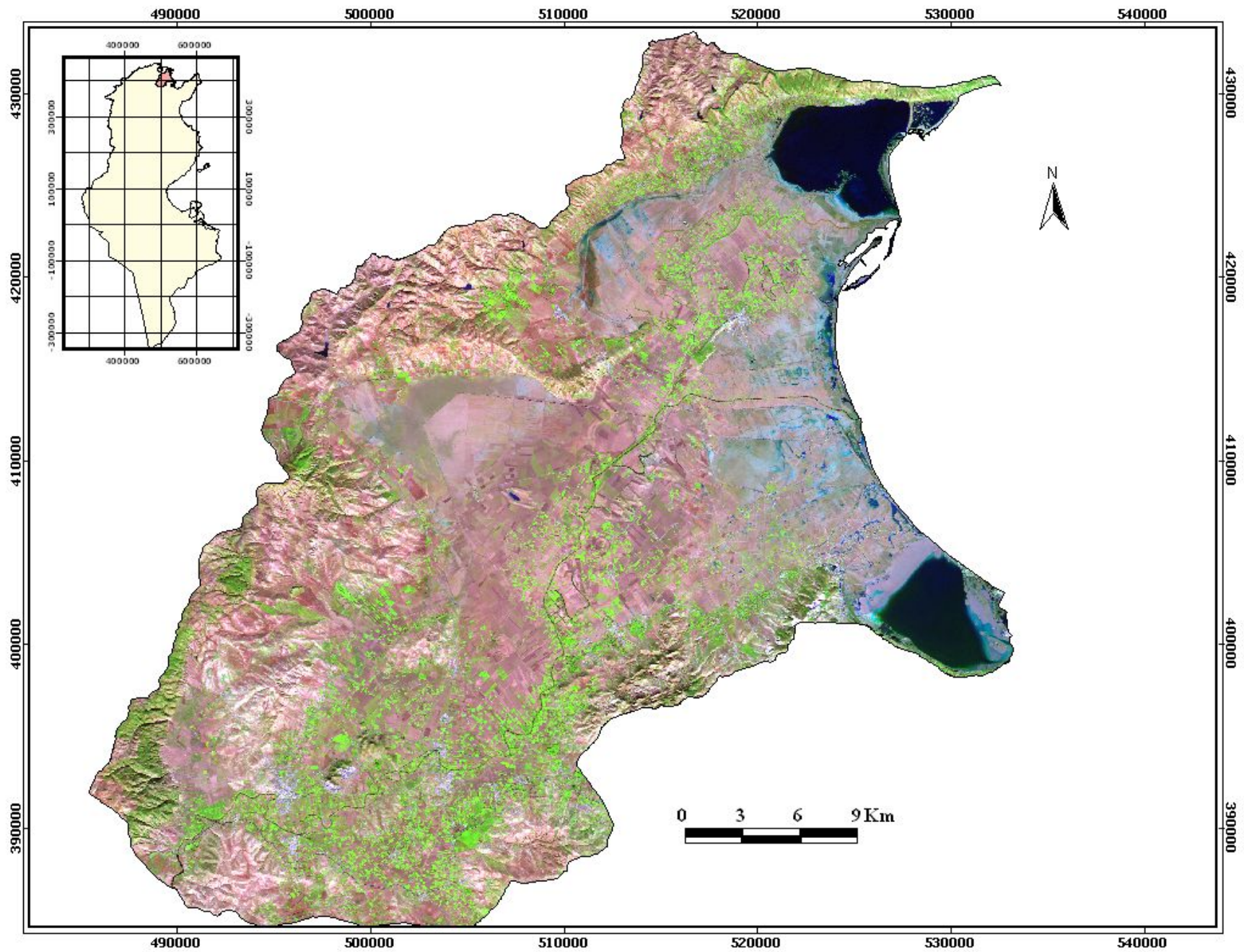
Quelques résultats issues des traitements
des images satellitaires & modélisation



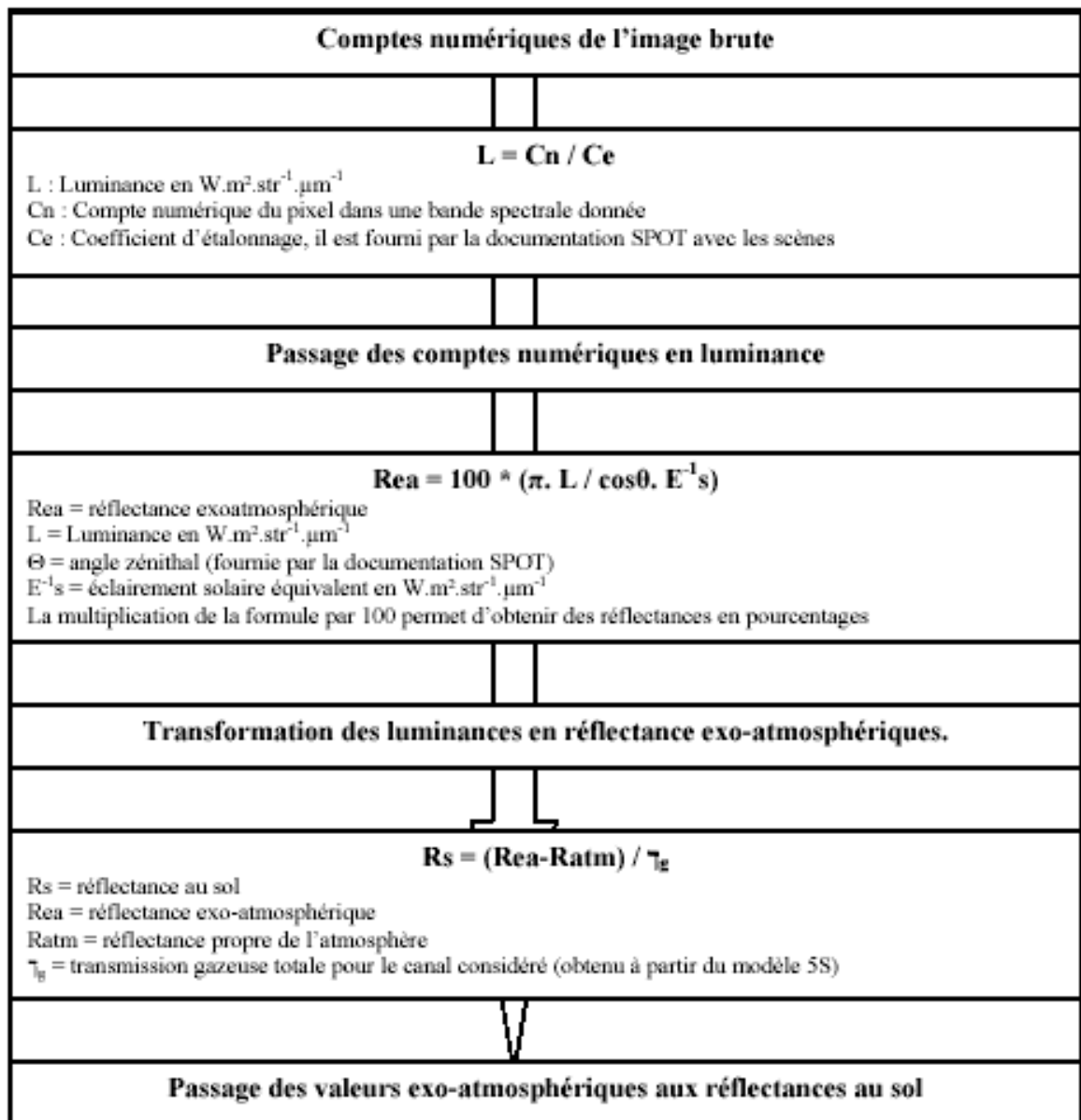
ill. n°1 : Géoréférencement et composition colorée de l'image Spot/XS 2002 (ISIS, CNES).



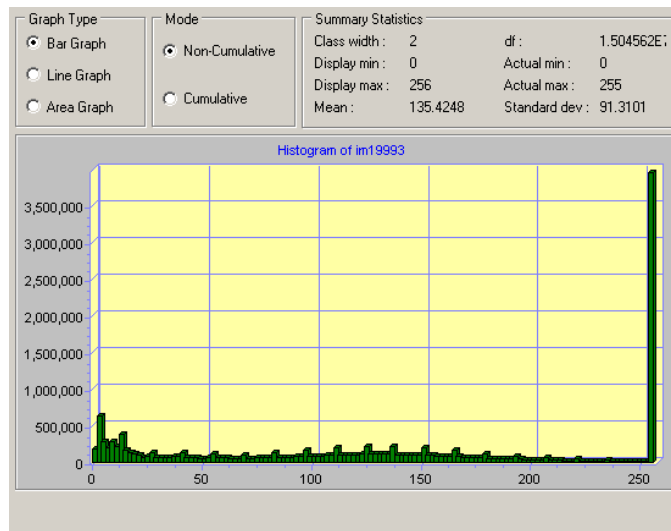
ill. n°2 : Géoréférencement et composition colorée de l'image Spot/XS 1988 (ISIS, CNES).



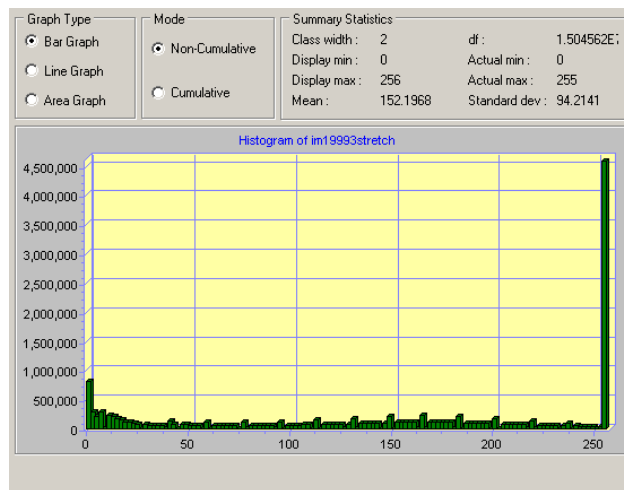
ill. n°3 : Géoréférencement et composition colorée de l'image Spot/XS 1999 (ISIS, CNES).



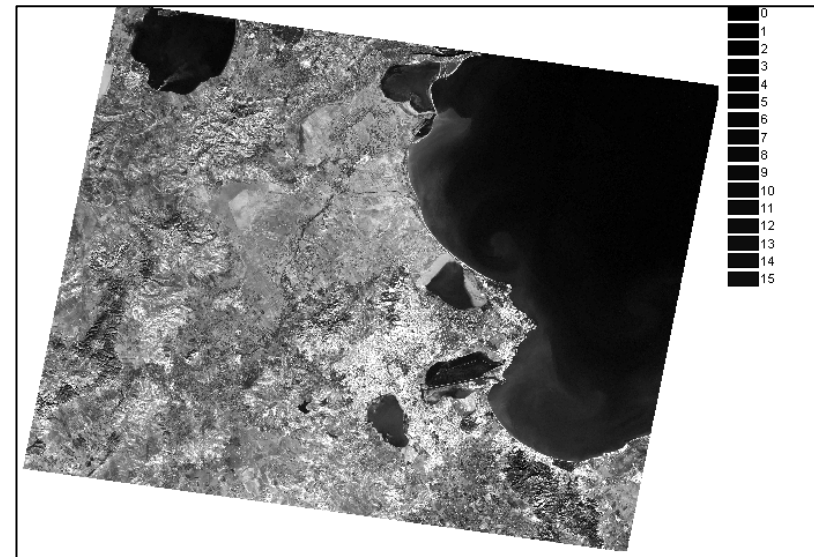
ill. n°4 : Processus des corrections atmosphériques avec le modèle 5S (CORGNE S., 2004).



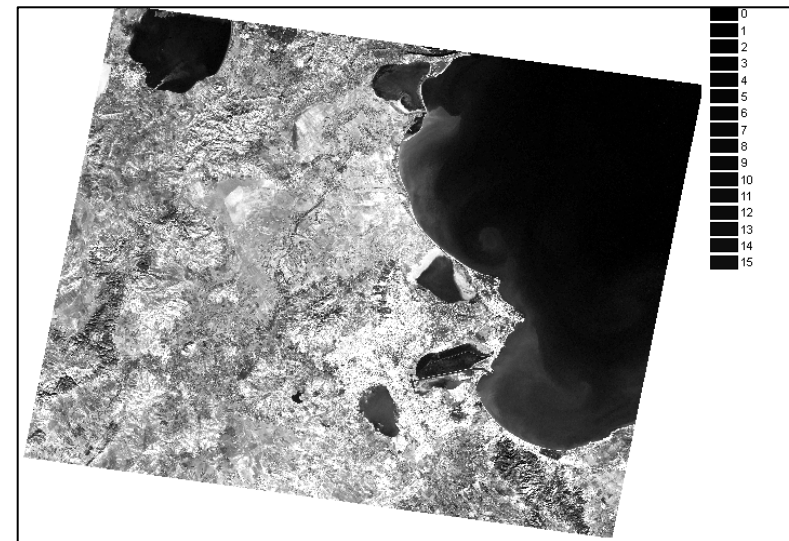
ill. n°5 : Histogramme de la bande XS3 (Spot, 1999), montrant la répartition initiale des fréquences des pixels selon les valeurs radiométriques (IDRISI 32).



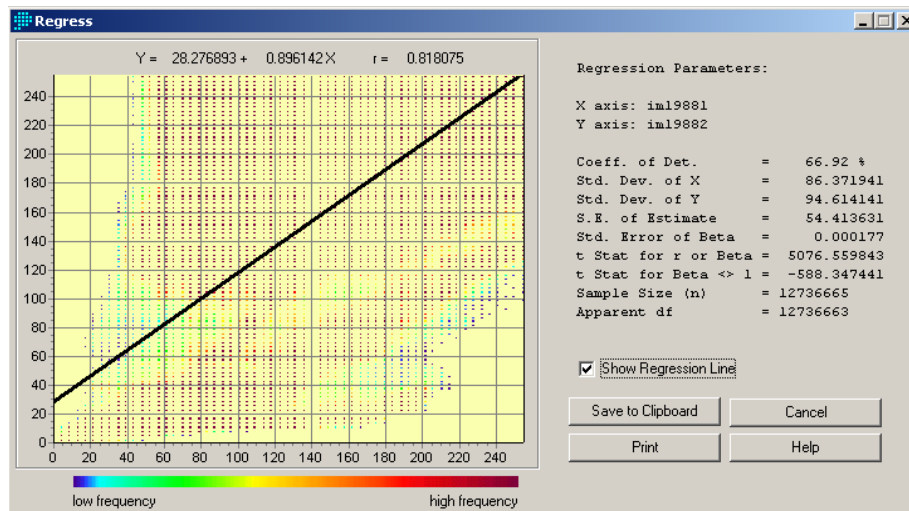
ill. n°7 : Histogramme de la bande XS3 (Spot, 1999), montrant la répartition initiale des fréquences des pixels selon les valeurs radiométriques (IDRISI 32).



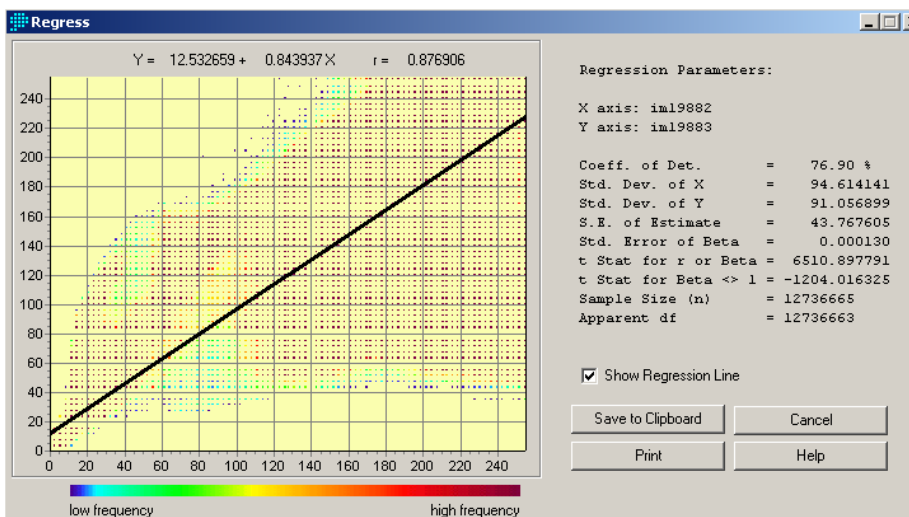
ill. n°6 : La bande XS3 (Spot, 1999) avant le stretching.



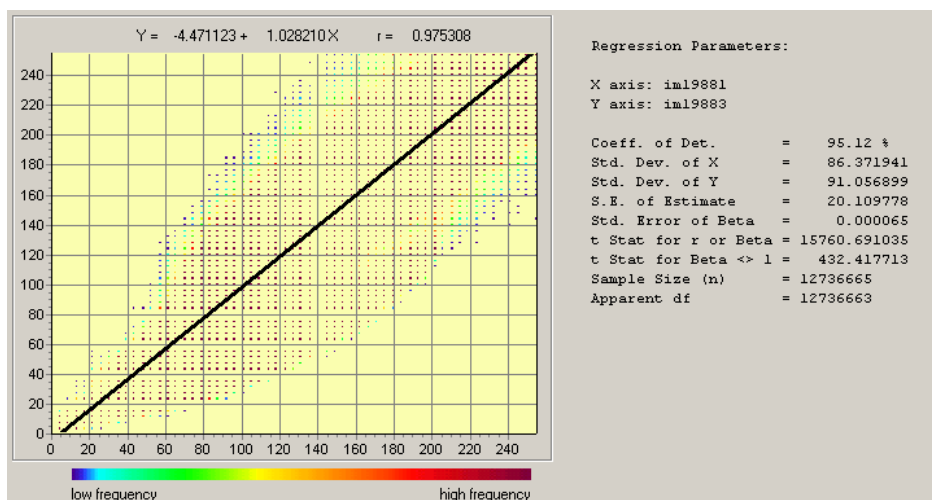
ill. n°8 : La bande XS3 (Spot, 1999) après le stretching.



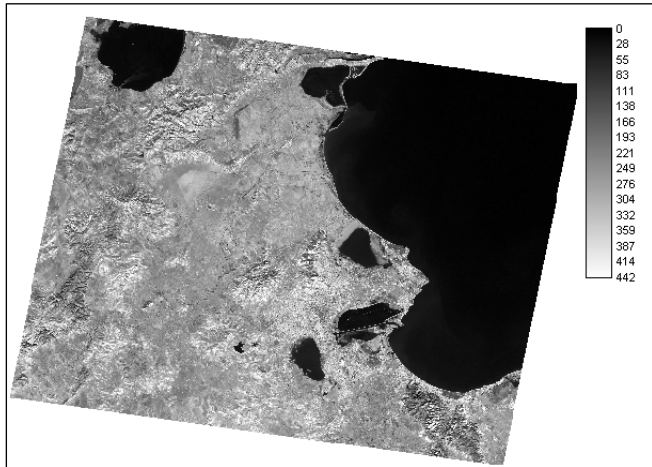
ill. n°9 : Une décorrélation forte entre les bandes XS1/XS2 de l'image 1988.



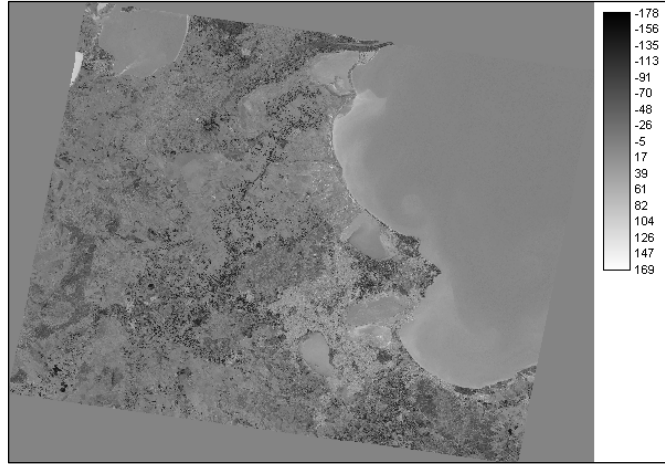
ill. n°10 : Une décorrélation partielle entre les bandes XS2/XS3 de l'image 1988.



ill. n°11 : Une corrélation forte entre les bandes XS1/XS3 de l'image 1988.



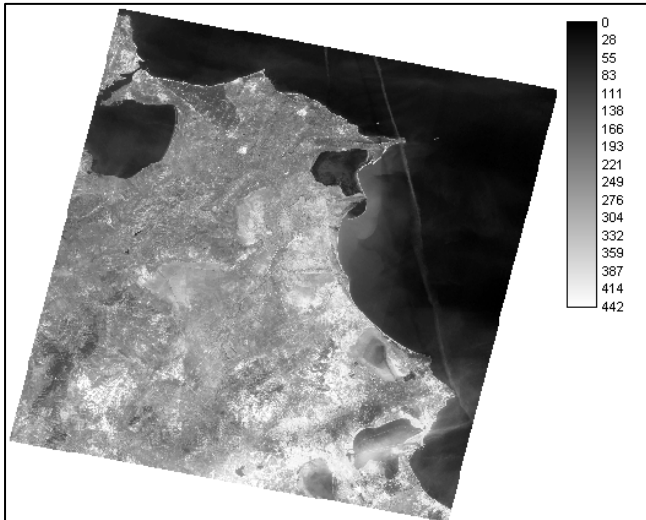
ill. n°12 : Composante 1 de l'image Spot/XS 1999



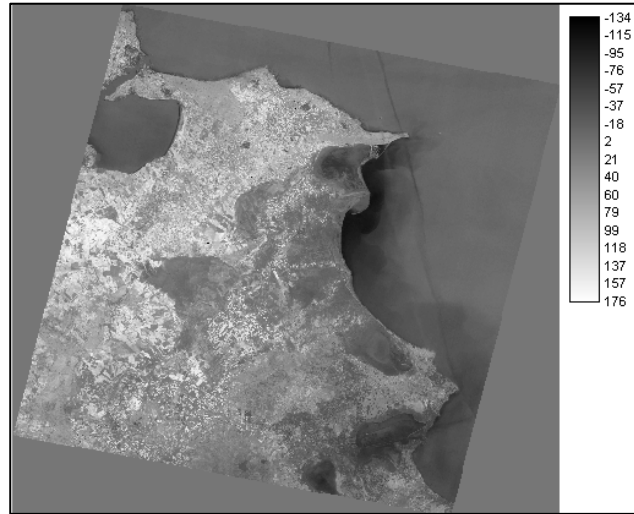
ill. n°13 : Composante 2 de l'image Spot/XS 1999



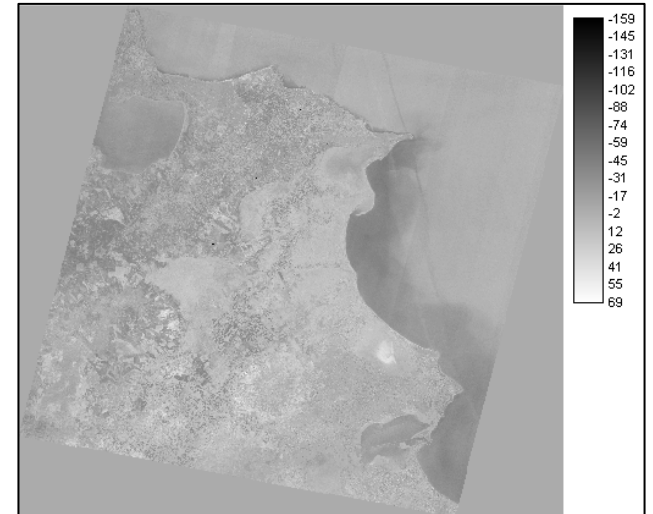
ill. n°14 : Composante 3 de l'image Spot/XS 1999



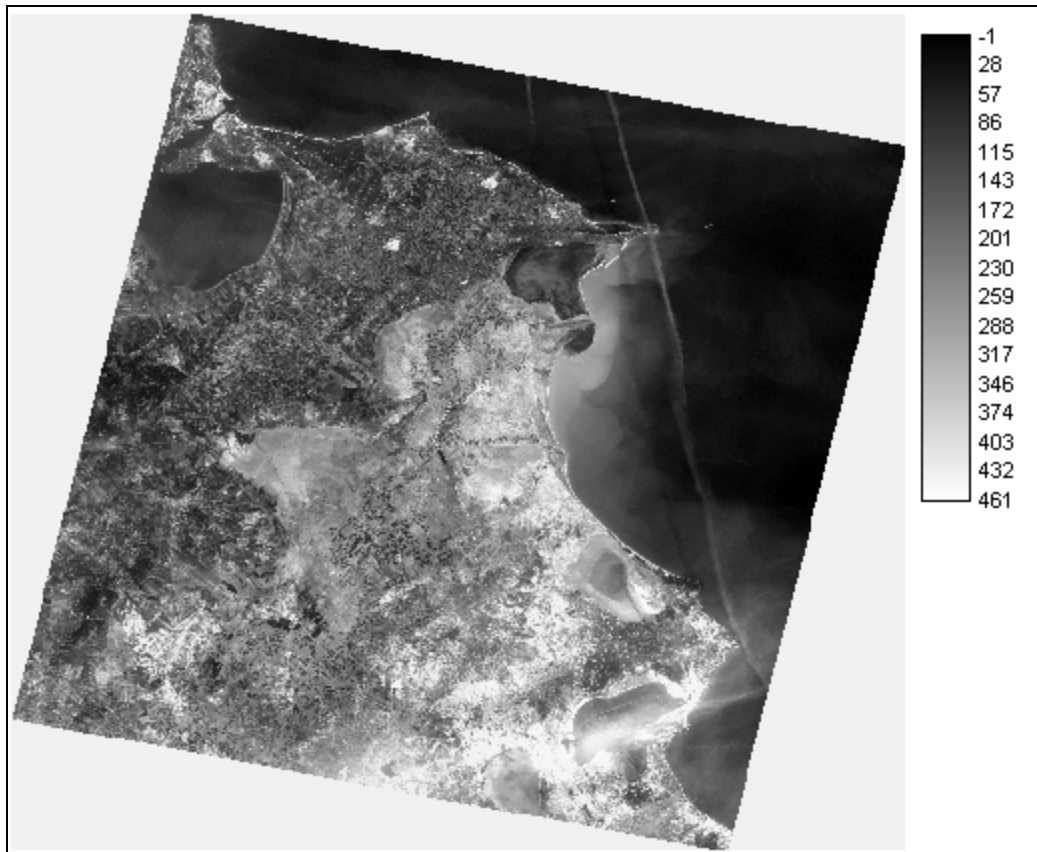
ill. n°15 : Composante 1 de l'image Spot/XS 1988



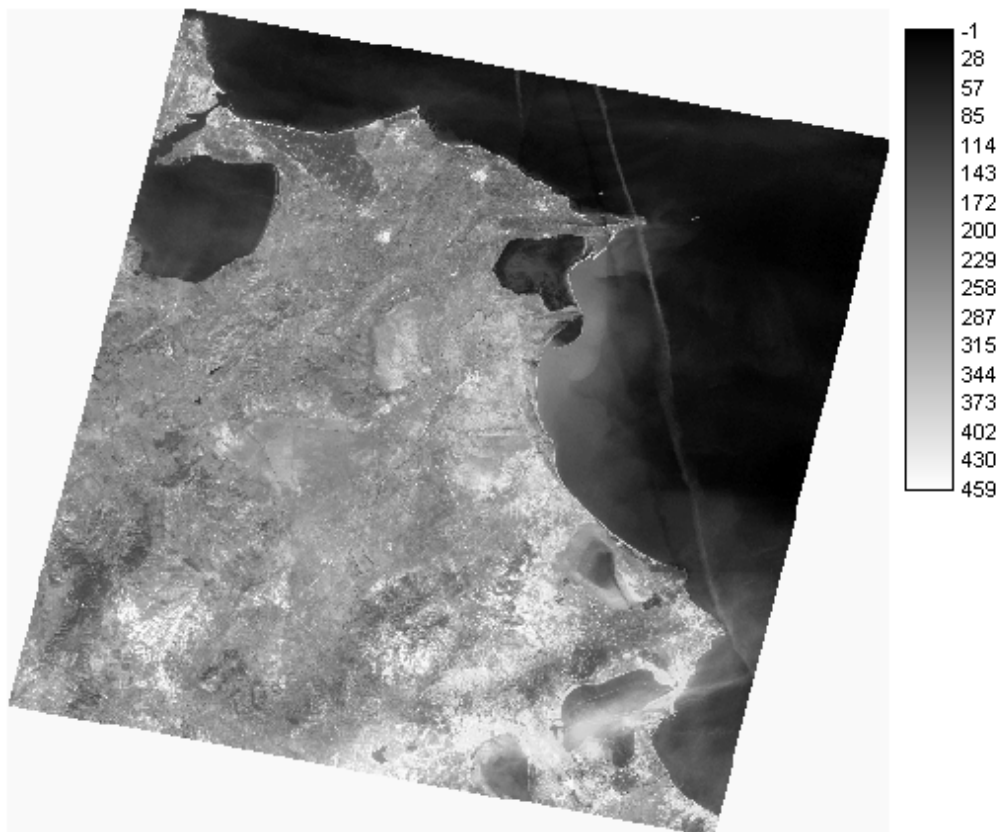
ill. n°16 : Composante 2 de l'image Spot/XS 1988



ill. n°17 : Composante 3 de l'image Spot/XS 1988



ill. n°18 : Résultat de la Composante1₁₉₉₉ - Composante1₁₉₈₈



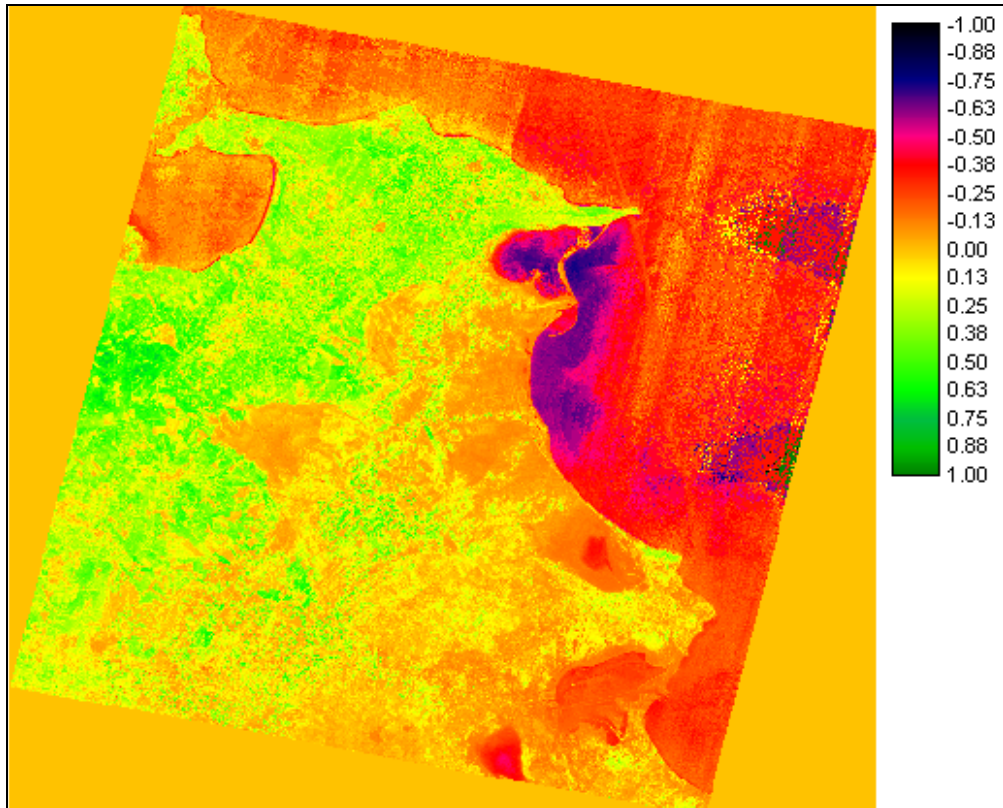
ill. n°19 : Résultat de la Composante2₁₉₉₉ - Composante2₁₉₈₈

Tableau n°1 : Résultats de l'ACP (image Spot/XS, 1988)

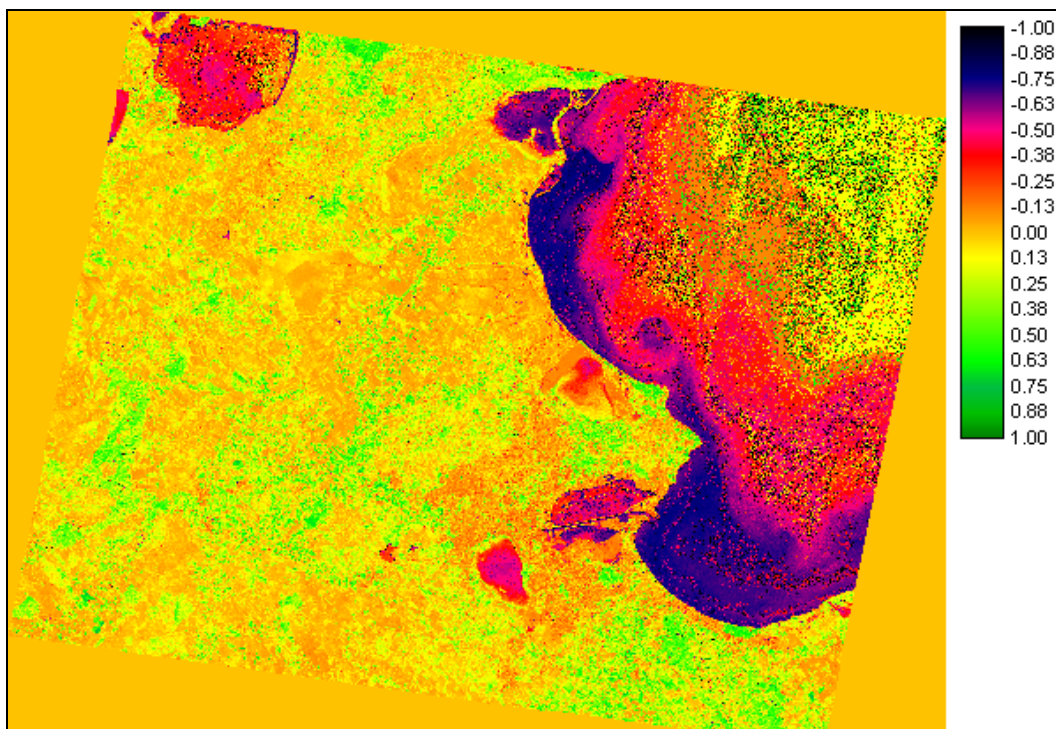
VAR/COVAR im19881 im19882 im19883			
im19881	7460.11	6685.32	7670.56
im19882	6685.32	8951.83	7554.78
im19883	7670.56	7554.78	8291.36
COR MATRX im19881 im19882 im19883			
im19881	1.000000	0.818075	0.975308
im19882	0.818075	1.000000	0.876906
im19883	0.975308	0.876906	1.000000
COMPONENT	C 1	C 2	C 3
% var.	92.73	6.68	0.59
eigenval.	2.78	0.20	0.02
eigvec.1	0.580681	-0.524411	-0.622739
eigvec.2	0.558251	0.813244	-0.164287
eigvec.3	0.592592	-0.252246	0.764988
LOADING	C 1	C 2	C 3
im19881	0.968500	-0.234805	-0.082914
im19882	0.931091	0.364130	-0.021874
im19883	0.988367	-0.112943	0.101853

Tableau n°2 : Résultats de l'ACP (image Spot/XS, 1999)

VAR/COVAR im19991 im19992 im19993			
im19991	9209.15	8539.57	8190.00
im19992	8539.57	8885.07	7886.49
im19993	8190.00	7886.49	8363.81
COR MATRX im19991 im19992 im19993			
im19991	1.000000	0.944052	0.933195
im19992	0.944052	1.000000	0.914853
im19993	0.933195	0.914853	1.000000
COMPONENT	C 1	C 2	C 3
% var.	95.42	2.67	1.91
eigenval.	25245.25	706.79	506.00
eigvec.1	0.592035	-0.398724	-0.700367
eigvec.2	0.580907	-0.391230	0.713783
eigvec.3	0.558607	0.829432	0.000000
LOADING	C 1	C 2	C 3
im19991	0.980228	-0.110460	-0.164169
im19992	0.979188	-0.110343	0.170338
im19993	0.970497	0.241114	0.000000

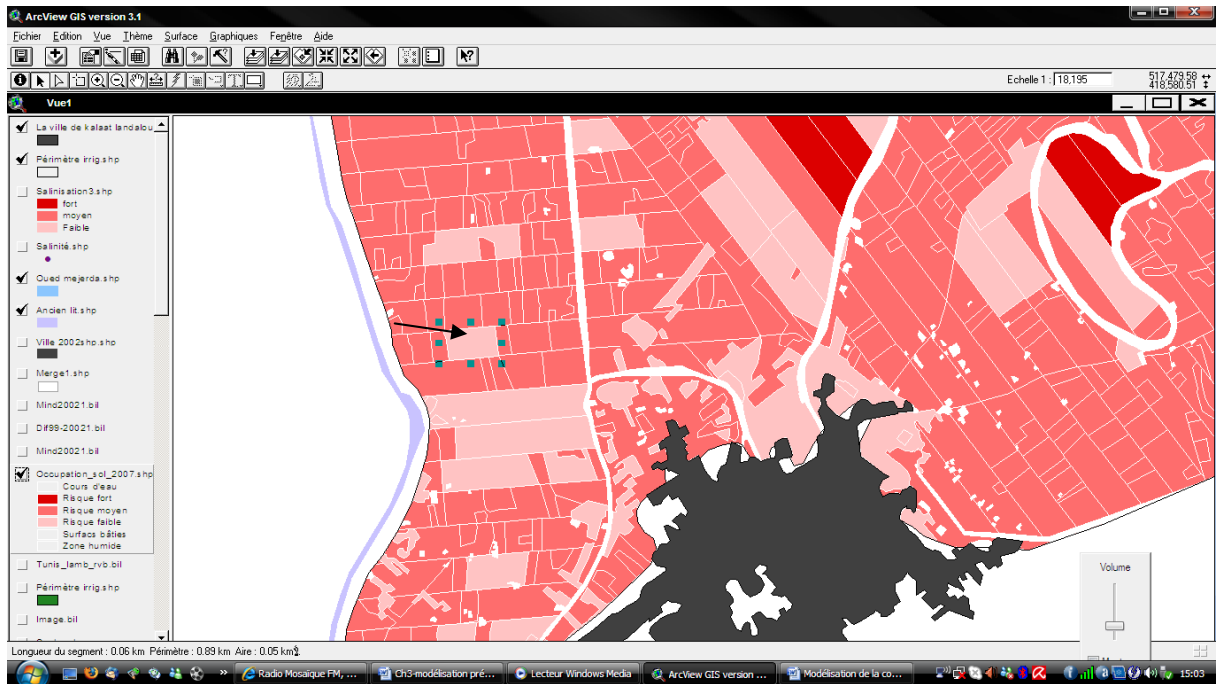


ill. n°20 : NDVI issu des bandes XS2 et XS3 de l'image Spot/XS 1988 (ISIS-CNES).

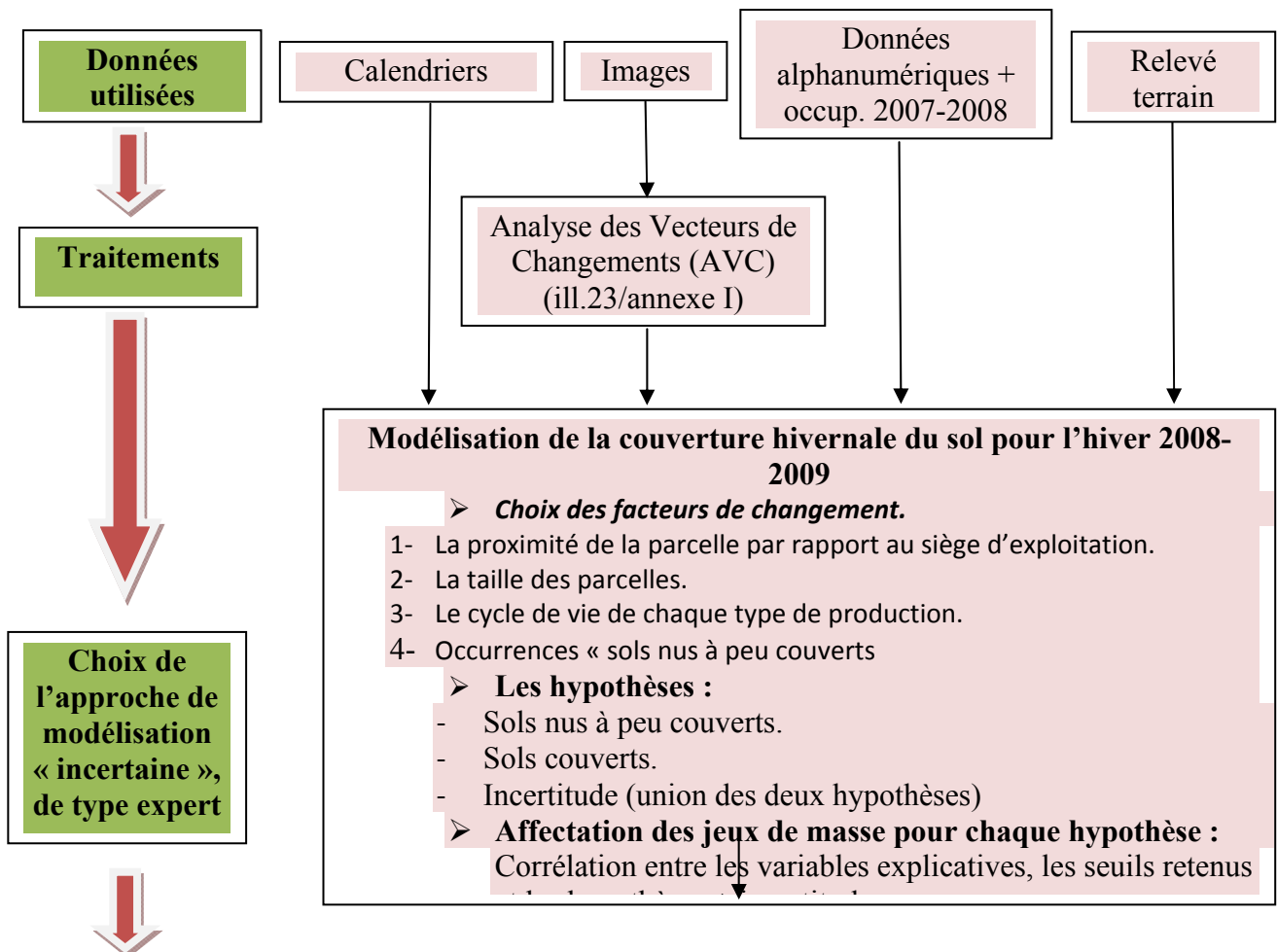


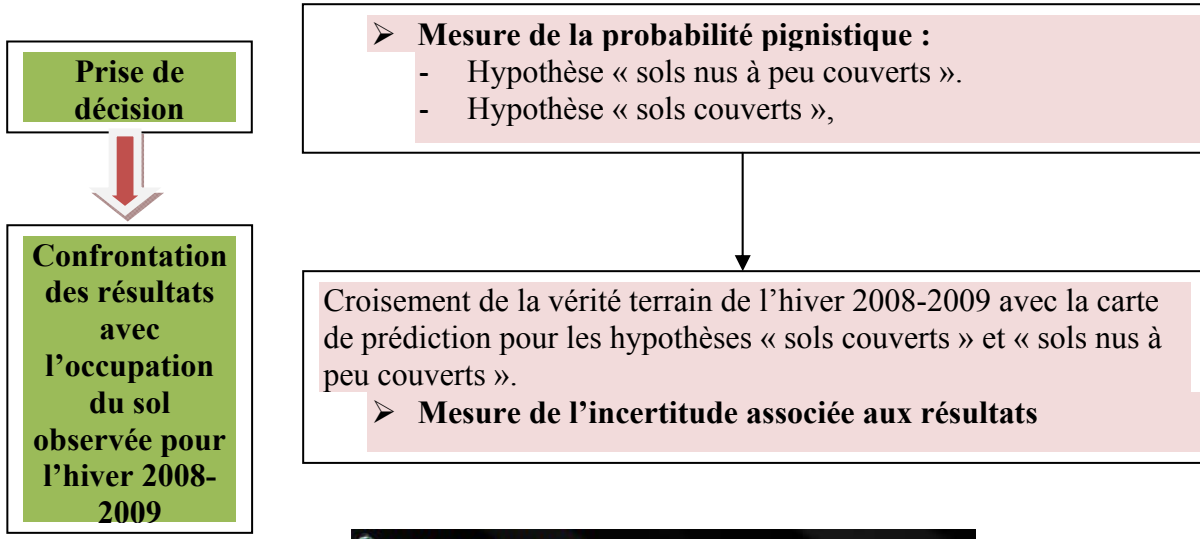
ill. n°21 : NDVI issu des bandes XS2 et XS3 de l'image Spot/XS 1999

Modélisation de la couverture hivernale du sol : cas d'une parcelle agricole à l'Ouest de Kalaât Landalous



ill. 22 : localisation de la parcelle agricole en question





AVC des images de 2001 et de 2002

Salinité	VEC_ch_2001-2002	VEC_ch_99-2002
0	Changement fort avec gain de	Changement fort avec gain de
0	Pas de changement	Pas de changement
0	Pas de changement	Pas de changement
0	Pas de changement	Pas de changement
0	Pas de changement	Pas de changement
0	Pas de changement	Pas de changement
0	Changement faible avec gain d	Changement faible avec gain d
0	Pas de changement	Pas de changement

ill. 23 : AVC pour la parcelle en question

Occup_sol_2007	$P(S_C)=m(S_C)+1/2m(S_C/S_N)$	Crois. VT et carte de prédiction	$P(S_N)=m(S_N)+1/2m(S_N/USC)$
Culture annuelle en sec	0.2488-0.4029	Sols nus à peu couverts prédit	0.58-0.74
Surfaces boisées	0.8222-0.9499	Sols couverts correctement pré	0
Culture annuelle en sec	0.2488-0.4029	Sols nus à peu couverts corrig	0.58-0.74
Culture annuelle en sec	0.2488-0.4029	Sols nus à peu couverts corrig	0.58-0.74
Culture annuelle en sec	0.0039-0.2337	Sols nus à peu couverts corrig	0.74-0.99
Culture annuelle en sec	0.0039-0.2337	Sols nus à peu couverts	
Culture annuelle en sec	0.0039-0.2337	Sols nus à peu couverts	
Culture annuelle en sec	0.0039-0.2337	Sols nus à peu couverts	
Sols nus à peu couverts	0.8222-0.9499	Sols couverts correctement pré	0
Sols nus à peu couverts	0.8222-0.9499	Sols couverts correctement pré	0
Sols nus à peu couverts	0.8222-0.9499	Sols couverts correctement pré	0
Surfaces boisées	0.8222-0.9499	Sols couverts correctement pré	0

ill. 24 : Mesure de la probabilité pignistique (P) et croisement de la vérité terrain avec la carte de prédiction

ANNEXE II
Enquête socioéconomique et résultats

Département de géographie

**Enquête socio-économique auprès de la population
du delta de Mejerda (mars 2007)**

Localisation :

Date :

Heure :

1/Caractéristiques sociodémographiques :

- Sexe : M. ; F. - Age :

- Niveau d'éducation : primaire ; secondaire supérieure.

- Fonction : ; lieu.....

- Quels ont été les métiers que vous avez exercé depuis l'âge de 15 ans (dans l'ordre chronologique) ?.....

.....

...

- L'habitant : seul en famille n^{bre} de personnes dans la famille :

-Date de l'installation dans la région :

Origine : -Pourquoi ce secteur ?:.....

- Propriétaire ; Locataire ;Ouvrier ;Autre.....

- Avez-vous un membre de la famille qui travaille à l'étranger ? Oui ; Non

- Si oui, vous en voie-t-il de l'argent ? Oui Non

2/Caractéristiques de l'habitation :

- Maison isolée ; Appartenant à un groupe de maisons.

- Type d'agglomération : Douar Dachra Village Ville

- Construction en dur ; Oui ; Non - n^{bre} de pièces :date :

Prix de m² (actuellement).....(avant/période).....

- Construction légère ; En bois ; Gourbis ;

Autres :

- Position de la maison par rapport :

- * à la propriété agricole.....
- * au plus proche cours d'eau (oued)
- * à la plus proche route.....
- * au centre urbain le plus proche.....
- Lequel ?.....

3/ Ménages et ressources sylvo-pastorales :

- Qu'utilisez vous pour la cuisine : Bois ; Gaz ; Pétrole ; Electricité
- La bourse de vache ; Autres.....
- * si bois, d'où venez vous du bois.....
- Qu'utilisez vous pour le chauffage : Bois ; Gaz ; Pétrole ; Electricité
- La bourse de vache ;Autres.....
- Possédez vous un four à pain : Oui ; Non
- Faites vous du charbonnage : Oui ; Non
- Si oui, combien de fois par an et au cours de quelle période de l'année ?
.....

4/ Propriété agricole et production animale :

4-1-Propriété agricole

- Possédez- vous une terre agricole ? Oui ; Non
- Si oui, qu'elle est sa superficie en ha ?.....
- Date d'acquisition.....
- Nature de l'acquisition : Achat ; Héritage ; Autres
- Prix de m²/ha (actuellement).....(avant/période).....
- Position de la propriété : Au sommet ; Sur le versant ; Au piémont ;
Dans la plaine , si Oui, qu'elle plaine.....
- ; Sur la berge de l'oued ,si Oui, à qu'elle distance.....
- autres
- .

- Exploitation agricole : arboriculture ; Type..... Superficie (ha)..... rendement/ha.....Qnt.commercialisée.....Destination....
- Grande culture ; Type..... Superficie (ha)..... rendement/ha.....Qnt.commercialisée.....Destination.....
- Cultures maraîchères ; Type..... Superficie (ha)..... rendement/ha.....Qnt. commercialisée.....Destination.....
- Chronologie de production (type/période).....
-
- ...
- Les obligations de changements de la nature de production.....
-
- ...
- En cas de culture maraîchère, source d'irrigation.....
- Utilisez-vous des crédits en nature ? Oui ; Non : Si oui, qui vous prête ?.....
-
- Le matériel de travail utilisé : Traditionnel ; Mécanique
- Si mécanique, de quel type.....
- A votre avis, ces machines sont elles nuisibles au sol ? Oui ; Non
- Si oui, comment ?
-

4-2- La production animale

	Effectif actuel	Destination de la production	
		Vente/an	Auto-consommation /an
		Produits en quantité	Produits en quantité
Bovins		Lait : Viande : Destination :	
Caprins			
Volaille		Œufs : Viande : Destination :	
Lapins			

- Prenez vous des troupeaux en association : Oui ; Non

*si oui, combien de têtes.....

- Donnez vous des troupeaux en association : Oui ; Non

*si oui, combien de têtes.....

-Où pâture le troupeau pendant :

étéautomne.....

Hiver..... Printemps.....

- Louez- vous des terres en « achaba » : Oui ; Non

- Si oui, où ? et qu'elle est sa

superficie ?.....

*

Durée.....

- Donnez vous un complément d'aliment aux animaux ? Oui ; Non

- Si oui, d'où vous vous le

procurez ?.....

5/ Risques naturels et aménagements :

- Etes vous sensibilisé par les menaces de l'érosion ? Oui ; Non

* si oui, comment ?.....

- Votre terre est elle menacée par l'érosion ? Oui ; Non

- Etes vous sensibilisé par les menaces d'inondation ? Oui Non

- Avez-vous constaté des changements dans les lits des oueds ? Oui Non

*si oui quel oued ?.....et quel type de changements.....

.....

- Avez-vous constaté d'autres changements dans le paysage ? lesquels, quand ? et où ?.....

...

.....

..

- Souvenez vous d'évènements exceptionnels ? Oui Non

* si oui de quel type ?.....

Quand ?.....où ?.....

..

Qu'elles sont les conséquences ?.....

.....

.

- Possédez vous des documents illustrant l'ancien paysage surtout avant les phénomènes exceptionnels ? Oui Non

* si oui, de quel type ?.....

- Connaissez vous des travaux de CES dans la région ? Oui Non

* si oui, de quel type ?.....et où ?.....

* quand ont-ils été faits ?.....

* sont ils suffisants et efficaces ? Oui ; Non

- Connaissez vous d'autre aménagements ? Oui Non

* si oui, de quel type ?.....et où ?.....

* quand ont-ils été faits ?.....

- Quels sont les plus gros problèmes que vous avez rencontrés depuis que vous êtes installés dans la région?.....

.....
.....
.....

1. Le sexe

	N ^{bre} de réponses	%
Masculin	717	98.35
Féminin	12	1.65

2. L'âge

N ^{bre} de réponses	La moyenne des âges (an)
541	49.80

3. Niveau d'éducation

	N ^{bre} de réponses	%
Primaire	186	45.25
Secondaire	114	27.73
Universitaire	27	6.56
Analphabète	84	20.46

4. L'interrogé vive - t-il ?

	N ^{bre} de réponses	%
Avec la famille	381	89.44
Seule	45	10.56

5. Nombre de personnes/famille ?

N ^{bre} de réponses	La moyenne (personne/famille)
441	5.7

6. L'interrogé est-il originaire ?

	N ^{bre} de réponses	%
Oui	330	77.46
Non	96	22.54

7. L'interrogé est-il ?

	N ^{bre} de réponses	%
Propriétaire	321	82.49
Locataire	18	4.65
Autres	48	12.86

8. A t-il un membre de la famille à l'étranger ?

	N ^{bre} de réponses	%
--	------------------------------	---

Oui	51	13.39
Non	330	86.61

9. Si oui, vous fait -t-il un transfère d'argent ?

	N ^{bre} de réponses	%
Oui	15	4.1
Non	351	95.9

10. Caractéristique de l'habitat ?

	N ^{bre} de réponses	%
Aggloméré	327	80.74
Dispersé	78	19.26

11. Type d'agglomération ?

	N ^{bre} de réponses	%
Douar	72	18.75
Dachra	18	4.68
Village	216	56.25
Ville	78	20.32

12. Type de logement ?

	N ^{bre} de réponses	%
En dur	621	100
Non	0	0

13. Nombre de pièce par logement ?

N ^{bre} de réponses	La moyenne (pièce/logement)
611	3.91

14. La distance entre le logement et l'exploitation agricole ?

	N ^{bre} de réponses	%
< à 1 kilomètre	45	56.98
Entre 1 et 2 kilomètres	17	21.51
> à 2 kilomètres	17	21.51

15. Le prix d'un m² en urbain ?

	N ^{bre} de réponses	La moyenne (dinars/m ²)
Au début des années 80	94	8.52
Actuellement	100	70.62

16. Qu'utilise l'interrogé pour la cuisson ?

	N ^{bre} de réponses	%
Bois	138	26.46
Gaz	297	56.89
Pétrole	24	4.59
Electricité	42	8.04
Déchets	21	4.02
Autres	0	0

17. Qu'utilise -t-il pour le chauffage ?

	N ^{bre} de réponses	%
Bois	210	49.64
Gaz	141	33.36
Pétrole	27	6.38
Electricité	33	7.80
Déchets	6	1.41
Autres	6	1.41

18. Fait-il du charbonnage ?

	N ^{bre} de réponses	%
Oui	84	25.93
Non	240	74.07

19. Possède -t-il -une exploitation agricole ?

	N ^{bre} de réponses	%
Oui	234	57.77
Non	171	42.23

20. Si oui quelle est sa surface en ha ?

	N ^{bre} de réponses	%
< 1ha	84	35.89
Entre 1 et 5 ha	108	46.15
>5ha	42	17.96

21. Le mode de l'acquisition ?

	N ^{bre} de réponses	%
Achat	99	49.26
Héritage	63	31.34
Autres	39	19.40

22. Le prix d'un « ha » en irrigué ?

	N ^{bre} de réponses	La moyenne (1000 dinars/ha)
Au début des années 80	61	21.54
Actuellement	162	65.16

23. Le prix d'un « ha » en non-irrigué ?

	N ^{bre} de réponses	La moyenne (1000 dinars/ha)
Au début des années 80	57	5.43
Actuellement	129	42.93

24. Arbres fruitiers ?

	N ^{bre} de réponses	La moyenne
Surface	51	3.12 ha
Rendement	45	12.01 Qtx /ha
Quantité vendue	38	11 tonnes

25. La destination (marché) ?

	N ^{bre} de réponses	%
Grand Tunis	55	62.5
Bizerte	6	6.82
Autres	27	30.68

26. Les grandes cultures ?

	N ^{bre} de réponses	La moyenne
Surface	41	8.85 ha
Rendement	18	9.19 Qts /ha
Quantité vendue	5	34.9 tonnes

27. La destination (marché) ?

	N ^{bre} de réponses	%
Grand Tunis	24	28.57
Bizerte	15	17.85
Autres	45	53.58

28. Périmètre irrigué ?

	N ^{bre} de réponses	La moyenne
Surface	42	2.91 ha
Rendement	11	20.22 Qtx /ha
Quantité vendue	5	27.84 tonnes

29. La destination (marché)?

	N ^{bre} de réponses	%
Grand Tunis	84	87.5
Bizerte	6	6.25

Autres	6	6.25
--------	---	------

30. L'interrogé a-t-il pris un crédit ?

	N ^{bre} de réponses	%
Oui	36	17.64
Non	168	82.36

31. Les outils utilisés ?

	N ^{bre} de réponses	%
Traditionnels	114	41.30
Modernes	162	58.70

32. La production animale ?

	N ^{bre} de réponses	La moyenne / tête
Bovin	54	5
Ovin	42	45.16
Volaille	10	135.9
Litre de lait vendu / jour	34	19.11
Bovin et ovin en coopération	0	0

33. L'interrogé a-t-il loué des terrains pastoraux ?

	N ^{bre} de réponses	%
Oui	54	24.65
Non	165	75.35

34. Le terrain que l'interrogé le possède est-il exposé aux risques d'inondations ?

	N ^{bre} de réponses	%
Oui	99	47.14
Non	111	52.86

Carte de l'occupation/utilisation du sol du delta de la Mejerda (2007)

