

*Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Toulouse*

**Projet de fin d'études**

présenté par Luc LEBRETON

pour l'obtention du  
***Diplôme d'Agronomie Approfondie***

*Spécialisation : Ingénierie Agronomique Environnement et Gestion de l'Espace*

**UN SYSTEME D'INFORMATION A REFERENCE SPATIALE  
COMME OUTIL D'AIDE A LA GESTION INTEGREE DE L'EAU EN  
TUNISIE CENTRALE**

Maître de stage : Patrick LE GOULVEN (IRD)  
Tuteur scientifique : Claude MONTEIL (ENSAT)

Stage effectué à la mission Tunis de l'Institut de Recherche pour le Développement  
(anciennement ORSTOM)  
Tunis, TUNISIE

Mars – Septembre 1999

## REMERCIEMENTS

Au terme de ce projet de fin d'étude, j'exprime tout d'abord ma sincère reconnaissance à Patrick LE GOULVEN (Maître de stage IRD) et Claude MONTEIL (Enseignant ENSAT) qui ont fait en sorte que mon projet de fin d'étude se déroule dans de bonnes conditions et qui m'ont apporté conseils et soutien durant mon travail.

Je remercie Jacques CLAUDE (Représentant de l'IRD en Tunisie) sans qui ce stage n'aurait pu avoir lieu.

J'adresse aussi mes vifs remerciements à Vincent SIMONNEAUX pour ses nombreux conseils en géomatique et sa disponibilité. Je remercie également Roger CALVEZ pour son soutien et l'aide qu'il m'a apporté tout au long de mon stage. Merci aussi à Noomane BEN HAMOUDA, pour sa serviabilité et sa gentillesse.

Je veux également remercier le personnel et les responsables du CRDA de Kairouan et de la CTV de Chebika pour leur accueil.

Merci aussi aux aiguadiers et aux agriculteurs rencontrés pour le temps qu'ils m'ont accordé.

Enfin, je tiens à adresser mes vifs remerciements à tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin dans la réalisation de ce travail.

## RESUME

Ce mémoire de projet de fin d'étude présente les différentes phases d'élaboration d'un Système d'Information à Référence Spatiale (SIRS) portant sur un système irrigué complexe, situé dans la plaine de Kairouan où la ressource en eau est de plus en plus sollicitée pour satisfaire les besoins croissants de l'agriculture locale.

S'inscrivant dans un programme national de gestion intégrée de l'eau, le SIRS MERGUSIE s'adresse au ministère de l'Agriculture tunisien à travers ses services régionaux.

Pour répondre à l'objectif d'ajustement de la demande des irriguants à l'offre en eau et de valorisation de l'eau, le SIRS formalise sur une zone pilote les relations existantes entre des entités physiques, agronomiques et socio-économiques. Une base géographique (SIG *ArcView*) connectée à un système de gestion de base de données relationnelle (SGBDR *Microsoft Access*) permet de rendre compte, à des échelles multiples, des disparités locales du système irrigué appelé Ensemble Ressources Usages. La base cartographique intègre la dimension spatiale du système et la base de données relationnelles privilégie une approche temporelle de l'Ensemble Ressources Usages.

L'appréhension de la zone dans sa complexité géographique, humaine et systémique facilite ainsi la compréhension et l'aide à la décision du gestionnaire de la ressource en eau et des infrastructures hydrauliques.

Ce travail s'est déroulé en plusieurs phases.

Dans un premier temps, une base cartographique et photographique a été conçue afin de resituer toute entité dans son contexte topographique, toponymique et dans son environnement physique. Lors de la première phase d'élaboration des couches de fonds et en particulier lors du géoréférencement des images, un système de référence géographique<sup>+</sup> commun (prochainement en vigueur sur tout le territoire tunisien) a été choisi.

Parallèlement, les liens entre les entités retenues constitutives du SGBDR ont été formalisés. Cette phase de conceptualisation de données a abouti à la création de la base de données Access qui met en relation des entités de types hydrauliques et agronomiques, agronomiques et foncières, foncières et socio-économiques, etc. Cette base a permis d'orienter ensuite le travail de digitalisation des couches de bases SIG :

- limites administratives,
- limites des périmètres irrigués et des blocs hydrauliques,
- limites de parcelles,
- tracé des courbes de niveaux,
- localisation du réseau de surveillance piézométrique,
- situation des prises d'eau, etc.

Dans une seconde phase, des couches élaborées ont été générées à partir des couches de bases à l'aide d'algorithmes issus de deux logiciels de SIG :

- le Modèle Numérique de Terrain résulte d'une interpolation de courbes de niveaux (utilisation d'un algorithme d'*Idrisi*),

---

<sup>+</sup> Système de projection cylindrique : Universal Transverse Mercator (UTM), fuseau 32 ; Datum : Carthage

## Résumé

- les Modèles Numériques de Nappe sont issus d'interpolation de moyennes piézométriques sur une période choisie affectées à des entités ponctuelles correspondant à l'implantation géographique des piézomètres (algorithme de *Spatial Analyst*, extension d'*ArcView*).

Ces couches élaborées offrent de nouvelles perspectives d'analyse spatiale. Des isopièzes, des iso-courbes de tendances de la nappe, des courbes d'iso-profondeurs d'exhaure, des matrices de pente, etc. ont pu ainsi être réalisés sur des périodes caractéristiques.

S'ils s'avèrent précieux pour aider le gestionnaire dans ses prises de décision, ces nouveaux thèmes supposent de bonnes connections entre les deux logiciels utilisés. C'est pourquoi dans la phase de travail suivante, différentes connections entre *Access* et *ArcView* ont été évaluées. Des commandes automatiques de transfert rapide et facile de données entre l'un et l'autre logiciel ont été pré-définies avant la conception d'une interface générale SIG - SGBDR.

En dernier lieu, une réflexion a été engagée pour connecter un modèle agro-économique et les résultats de modèles hydrauliques à l'actuelle base de données du SIRS. Des « simulations multi-systèmes » devraient permettre d'estimer mieux encore :

- les retombés d'une décision du gestionnaire : augmentation du prix de l'eau publique, soutien financier des pratiques d'irrigation "économiques" en eau,
- les conséquences d'un événement donné : diminution annuelle du niveau de la nappe, accroissement des cultures à fortes valeurs ajoutées ou aux besoins physiologiques en eau élevés sur le système irrigué, etc.

Si la période d'essai au Ministère de l'Agriculture est concluante, ce SIRS pourra être reproduit, amélioré et adapté à d'autres zones irriguées. Une réflexion devra être menée sur la manière d'intégrer mieux encore dans le SIRS la dimension temporelle de certaines informations ; celle-ci étant une notion fondamentale en gestion intégrée de l'eau dans un système en perpétuel changement

Il reste à souhaiter que cette analyse de la zone puisse aider le CRDA de Kairouan à ajuster ses objectifs de gestion en fonction des pratiques réelles des usagers agricoles qui semblent très vite s'adapter aux évolutions technologiques récentes et à la demande agro-alimentaire sur le marché local et national.

### **Liste des abréviations utilisées**

SAU : Surface Agricole Utile

Besoins\_théo/cult : besoins théoriques en eau par type de culture

Cote\_TN : désigne la hauteur de la PE ou du piezomètre ou piézographe par rapport au "0 marin"

CB : Culture de Base

Modif : modification

Piezo : piézomètres et piézographes

MNT : Modèle Numérique de Terrain (appelé encore Modèle Numérique d'Élévation)

MNN : Modèle Numérique de Nappe

X/Y\_coord : coordonnées géographiques exprimé dans un référentiel donné

N\_CRDA : Numéro officiel attribué par le Comité Régional de Développement Agricole (pas de doublon possible)

N\_IRH : Numéro officiel désigné par l'Institut des Ressources Hydrauliques (pas de doublon possible)

Nb : nombre

My : moyen ou moyenne

Tx : Taux

## TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE .....	8
CHAPITRE I - PRESENTATION DE LA PLAINE DE KAIROUAN .....	10
I - CONTEXTE GEOGRAPHIQUE ET HYDROLOGIQUE .....	10
A - Le bassin versant du Merguellil .....	10
B - La nappe et la plaine de Kairouan .....	11
1 - La nappe de Kairouan.....	11
2 - La plaine de Kairouan sous dépendance du barrage d'El Haouareb .....	13
II - CONTEXTE SOCIO-ECONOMIQUE .....	15
A - Le contexte administratif du développement agricole.....	15
1 - Les institutions tunisiennes régionales et locales.....	15
1. 1 - Le Commissariat Régional de Développement Agricole (CRDA).....	15
1. 1. 1 - Les arrondissements du CRDA concernés par l'eau .....	15
1. 1. 2 - Les représentations locales du Commissariat Régional de Développement Agricole (CRDA).....	18
2 - Les partenaires du projet MERGUSIE.....	18
B - Les principales caractéristiques de l'agriculture dans la plaine de Kairouan.....	20
1 - Les dernières mutations survenues dans le milieu agricole kairouanais.....	20
2 - Un bref aperçu sur le régime foncier .....	20
3 - Les principales cultures .....	21
3. 1 - L'arboriculture .....	21
3. 2 - Les cultures maraîchères.....	22
3. 3 - Les cultures industrielles.....	22
4 - L'élevage.....	22
III - IRRIGATION ET RESSOURCES EN EAU.....	22
A - Les différents types d'usagers.....	22
B - Le contexte institutionnel de l'irrigation.....	24
C - Des pratiques d'irrigation changeantes.....	25
IV - PROBLEMATIQUE .....	27
A - L'abaissement généralisé de la nappe.....	27
B - Les irriguants privés face aux outils réglementaires.....	27
CHAPITRE II - LA REALISATION D'UN SIRS : CONCEPTS ET INTERETS POUR LE PROJET MERGUSIE .....	30
I - INTRODUCTION.....	30
II - SYSTEME D'INFORMATION A REFERENCE SPATIALE : CONCEPTS ET METHODE.....	32
A - Généralités sur les SIRS.....	32
1 - Définitions.....	32
2 - Cadre théorique conceptuel.....	33
2. 1 - La structuration de l'information.....	33
2. 2 - La modélisation de la réalité.....	33
2. 2. 1 - La modélisation cartographique.....	33
2. 2. 2 - La modélisation entité-relation.....	33
B - Méthode retenue pour le SIRS du projet MERGUSIE .....	35
1 - Préambule.....	35
2 - Protocole général.....	36

## Table des matières

2. 1 - Recensement, collecte et vérification des données.....	37
2. 2 - Choix des données nécessaires et complémentaires en fonction des objectifs .....	38
3 - Les outils informatiques de développement.....	39
3. 1 - Microsoft Access 97 .....	39
3. 2 - ArcView (Version 3.1).....	40
3. 3 - Spatial Analyst (Version 1.1 ; Extension d'ArcView).....	40
3. 4 - ENVI (Version 3.1).....	41
3. 5 - IDRISI (Version 2.0 for Windows).....	42
3. 6 - ArcExplorer.....	43
4 - Les principaux liens et formats d'échange entre les outils de développement.....	44
4. 1 - Access et ArcView .....	44
CHAPITRE III - LA CONCEPTION DU SIRS MERGUSIE : DEVELOPPEMENT DU SIG .....	46
I - INTRODUCTION.....	46
II - CREATION DES "COUCHES DE FONDS" : CARTES TOPOGRAPHIQUES ET PHOTOGRAPHIES AERIENNES .....	46
A - Introduction.....	46
1 - Choix des supports cartographiques et photographiques.....	47
B - Scannérisation des photographies aériennes et cartes topographiques .....	48
C - Rectification géométrique et géoréférencement.....	49
1 - Etalement de dynamique des images.....	52
2 - Création d'un "stretch" sur les photos (diminution de la dynamique) .....	52
3 - Géoréférencement et corrections géométriques .....	54
3. 1 - Opérations sur les cartes .....	54
3. 2 - Opérations sur les photos.....	55
3. 2. 1 - Repérage du bassin versant aval du Merguellil et prise de points GPS sur le terrain ..	57
4 - Vérification du géoréférencement des photos.....	61
4. 1 - Vérification par "superposition" d'images.....	61
4. 2 - Vérification a posteriori lors du mosaïquage des images.....	62
D - Mosaïquage des images .....	63
1 - Les "annotations".....	63
2 - L'exclusion d'une valeur de pixel dans l'image.....	65
E - Exportation au format ArcView des fichiers images .....	66
III - CREATION DES COUCHES THEMATIQUES (SOUS ARCVIEW).....	68
A - Les couches de base .....	68
1 - Choix et justification.....	68
2 - Limites de la zone d'étude.....	70
3 - Limites administratives.....	70
4 - Courbes topographiques.....	72
5 - Piézométrie .....	73
6 - Prises d'eau.....	77
7 - Périmètres Irrigués - Blocs hydrauliques et lots d'irrigation .....	78
8 - Parcelles .....	79
B - Les couches élaborées .....	81
1 - Le Modèle Numérique de Terrain.....	83
1. 1 - Un intérêt double.....	83
1. 2 - L'élaboration du MNT.....	83
1. 2. 1 - Diagramme synthétique des étapes d'élaboration des MNT .....	84
1. 2. 2 - MNT créé sous ArcView à l'aide de Spatial Analyst.....	85
1. 2. 3 - MNT créé sous Idrisi.....	91
1. 2. 4 - Comparaisons des MNT entre Spatial Analyst et Idrisi .....	100
2 - Le Modèle Numérique de Nappe.....	103
2. 1 - Intérêt.....	103
2. 2 - Réalisation.....	103
2. 2. 1 - Méthodes d'interpolation.....	103
2. 3 - Présentation de quelques résultats.....	106

## Table des matières

2. 3. 1 - Situation piézométrique de la nappe .....	106
2. 3. 2 - Courbes de tendance .....	107
2. 3. 3 - Courbes de profondeurs .....	107
3 - Le Modèle de Qualité des Eaux souterraines .....	108
4 - Les consommations en eau (PI et parcelles) .....	108
5 - Les cultures dans les parcelles .....	108
CHAPITRE IV - LA CONCEPTION DU SIRS MERGUSIE : DEVELOPPEMENT DU SGBDR.....	109
I - INTRODUCTION.....	109
II - CONCEPTION ET REALISATION DE LA BASE DE DONNEES .....	109
A - Présentation du Modèle Conceptuel de Données .....	109
1 - Quelques explications sur les entités retenues .....	111
2 - Méthode .....	111
2. 1 - Cardinalité maximum de n.....	112
2. 2 - Cardinalité maximum de 1.....	112
2. 3 - Cardinalité minimum de 0.....	112
B - Présentation du Modèle Physique de Données sur le SGBDR Access.....	113
1 - Création des tables Access.....	115
2 - Relation entre tables et notion d'intégrité référentielle.....	118
3 - Requêtes utilisées .....	119
3. 1 - Requêtes Sélection .....	119
3. 2 - Requêtes Mise à Jour .....	121
4 - Création de formulaires.....	122
CONCLUSION GENERALE.....	125
BIBLIOGRAPHIE .....	126
ANNEXES.....	129
ANNEXE 1 – AIC EL MELALSA.....	130
ANNEXE 2 – ORGANIGRAMME DU CRDA .....	133
ANNEXE 3 – ANALYSE DIACHRONIQUE DE LA GESTION DE L'EAU EN TUNISIE .....	135
ANNEXE 4 – STRUCTURATION DES DONNEES APPLIQUEES AUX SIG .....	143
ANNEXE 5 – NOTIONS DE BASES D'ACCESS .....	151
ANNEXE 6 – NOTIONS DE BASES D'ARCVIEW .....	153
ANNEXE 7 – TYPES DE LIENS POSSIBLES ENTRE DONNEES EXTERNES ET FICHER DE FORME ARCVIEW.....	155
ANNEXE 8 – ASSEMBLAGE DES SUPPORTS CARTOGRAPHIQUES ET PHOTOGRAPHIQUES.....	157
ANNEXE 9 – QUELQUES RAPPELS THEORIQUES CONCERNANT LE GEOREFERENCEMENT AVEC ENVI ..	158
ANNEXE 10 – SAISIE DES POINTS D'AMER ET CALCUL DES RMS POUR LES IMAGES GEOREFERENCEES.....	160
ANNEXE 11 – ASSEMBLAGE DES PHOTOS .....	161
ANNEXE 12 – LES FILTRES D'IDRISI .....	162
ANNEXE 13 – EXEMPLE DE PROCEDURE EVENEMENTIELLE CREEE POUR LE FORMULAIRE PRISE D'EAU GENERAL EN VISUAL BASIC.....	163

## **TABLE DES FIGURES**

Figure 1 : Situation du Bassin versant du Merguellil en Tunisie .....	10
Figure 2 : Situation géographique de l'Ensemble Ressource Usages pilote et limites administratives du gouvernorat de Kairouan .....	12
Figure 3 : L'Ensemble Ressource Usages dans son contexte administratif.....	13
Figure 4 : Les Périmètres Irrigués de l'Ensemble Ressource Usages .....	14
Figure 5 : Contribution des différents secteurs d'activité dans les prélèvements par forage (Plaine de Kairouan - 1996).....	23
Figure 6 : Evolution de l'exploitation en eau dans la plaine de Kairouan par type de prise d'eau .....	25
Figure 7 : Rapide aperçu sur ArcExplorer.....	43
Figure 8 : Comparaison des images de sortie selon différents paramètres de scan.....	48
Figure 9 : Etalement de dynamique des photos sur histogramme (fonction Interactive Stretching).....	52
Figure 10 : Exclusion d'une valeur de pixel de la matrice (fonction Data Stretching).....	52
Figure 11 : Intérêt du stretch avant le géoréférencement.....	53
Figure 12 : Saisie de points d'amers lors du géoréférencement des cartes topographiques (fonction Image To Map) .....	54
Figure 13 : Géoréférencement des photos à partir de la carte topographiques géoréférencée (fonction Image To Image) .....	55
Figure 14 : Comparaison des modèles de déformation sur une même photo.....	56
Figure 15 : Fonctionnement et principe du positionnement GPS standard.....	57
Figure 16 : Fonctionnement et principe du positionnement GPS différentiel .....	58
Figure 17 : Calcul des coordonnées géographiques par moyennes mobiles sur le GPS fixe .....	60
Figure 18 : Liaison de deux images (fonction Link Display).....	61
Figure 19 : Superposition des affichages sur images liées (fonction Dynamic Overlay).....	61
Figure 20 : Comparaison des modèles de déformation lors du mosaïquage.....	62
Figure 21 : Exclusion des parties non désirables (suite au géoréférencement) des images par Annotation .....	63
Figure 22 : Assemblage des photos géoréférencées après les avoir annotées.....	64
Figure 23 : Exclusion de la valeur de pixels indésirable avant le lancement du mosaïquage .....	65
Figure 24 : Exportation des images au format ArcView (*.bil) .....	66

## **Tables des Illustrations**

Figure 25 : Création d'un fichier attributaire ("header") ArcView pour l'importation.....	67
Figure 26 : Digitalisation des contours de la zone d'étude (zoom sur la limite Nord Est).....	70
Figure 27 : Création de frontières communes entre les délégations et les secteurs compris dans la zone d'étude (extension Geoprocessing Wizard).....	71
Figure 28 : Retouche des vertex des courbes de niveau (pré-digitalisées à partir d'une table à numériser) sur la couche de fond topographique.....	72
Figure 29 : Importation de la table Access des caractéristiques des piézomètres (connexion SQL depuis ArcView).....	73
Figure 30 : Visualisation de table Piezo importée d'Access et convertie en dbf.....	74
Figure 31 : Création automatique d'un thème de points pour les piézomètres (fonction Add Event Theme) dans une vue non projetée et dont les unités sont fixées en degrés décimaux.....	75
Figure 32 : Changement de projection sur le thème de points Piézomètre (extension Projector).....	75
Figure 33 : Décalage observé après projection pour deux facteurs d'échelles 0.0966 (points verts) et 0.0967 (points bleus).....	76
Figure 34 : Utilisation du script Addxycoo.ave pour ajouter dans la table attributaire les coordonnées UTM des points des piézomètres importés.....	77
Figure 35 : Digitalisation des contours des infrastructures fonctionnelles d'irrigation (Périmètres irrigués, Blocs hydrauliques et lots d'irrigation).....	79
Figure 36 : Digitalisation des parcelles à partir des cadastres et des couches de fond photographiques.....	80
Figure 37 : Conversion d'un thème shape (polylignes) en grid (Spatial Analyst).....	85
Figure 38 : Conversion d'une "grille active" en un thème de points (script R2Vpoint).....	86
Figure 39 : Interpolation sur un fichier shape de points équidistants.....	86
Figure 40 : Vérification du MNT généré sous Spatial Analyst à l'aide de profil en long (extension Visibility tools).....	87
Figure 41 : Tests de l'effet nombre de voisins dans la méthode d'interpolation de distance inverse pondérée (Spatial Analyst).....	88
Figure 42 : Profils comparatifs (de longueur et d'orientation identique pour une résolution de MNT fixée à 5 mètres) des méthodes et paramètres d'interpolation sous Spatial Analyst.....	89
Figure 43 : Création d'un système de référence UTM avec les caractéristiques de la Tunisie.....	91
Figure 44 : Import du fichier "topo.shp" et enregistrement en un format vecteur Idrisi (fonction SHAPIDR).....	92
Figure 45 : Création d'un fichier attributaire à partir du fichier mdb créé automatiquement lors de l'importation.....	92
Figure 46 : Vérification du fichier attributaire à l'aide de l'éditeur de texte d'Idrisi.....	93
Figure 47 : Création d'une image destinée à recevoir le résultat de la rasterisation du fichier vecteur.....	94
Figure 48 : Rasterisation du fichier vecteur (fonction LINERAS).....	94
Figure 49 : Assignation des valeurs d'altitudes au pixel de l'image (fonction ASSIGN).....	95

## **Tables des Illustrations**

Figure 50 : Interpolation des isolignes de l'image à l'aide (fonction INTERCON) .....	95
Figure 51 : Multiplication des valeurs d'altitude affectées à chaque pixel (fonction SCALAR) .....	96
Figure 52 : Préparation de l'exportation du MNT Idrisi vers ArcView .....	97
Figure 53 : Création d'un masque sous ArcView .....	98
Figure 54 : Importation du fichier "MNT.fit" sous ArcView .....	98
Figure 55 : Application du masque sur le MNT importé (fonction Map Calculator de Spatial Analyst) .....	99
Figure 56 : Comparaison de profils sur le MNT Spatial Analyst et le MNT Idrisi .....	100
Figure 57 : Confrontation des données calculées par le MNT aux données terrain .....	101
Figure 58 : Comparaison des MNTs Spatial Analyst et Idrisi à partir des pentes (sur la même portion de territoire) .....	102
Figure 59 : Comparaison des MNNs selon divers paramètres de l'interpolation IDW (période : décembre 1998, 22 mesures piézométriques interpolées - Spatial Analyst) .....	104
Figure 60 : Niveaux piézométriques sur l'ERU entre 1970 et 1976 et en décembre 1998 .....	106
Figure 61 : Iso-baisses de la nappe durant l'année 1998 .....	107
Figure 62 : Profondeurs issues de la soustraction du MNT et du MNN .....	107
Figure 63 : Exemple d'association de type n-n entre Zone et Délégation (MCD) .....	112
Figure 64 : Création d'une table Access .....	115
Figure 65 : Les "tables secondaires" Access .....	116
Figure 66 : Création d'une liste de choix par saisie manuelle des valeurs .....	116
Figure 67 : Exemple de masque de saisie dans les tables .....	117
Figure 68 : Création de table de jonction .....	118
Figure 69 : Application de l'intégrité référentielle .....	118
Figure 70 : Exemple de jointure externe lors de l'application de l'intégrité référentielle dans une Requête Sélection .....	119
Figure 71 : Exemple d'une Requête Sélection "monotable" pour calculer des moyennes piézométriques sur une période définie .....	120
Figure 72 : Exemple de Requête Sélection "multitable" .....	121
Figure 73 : Exemple de Requêtes Mise à Jour pour le calcul d'un taux d'exploitation par parcelle .....	121
Figure 74 : Création d'un formulaire principal .....	122
Figure 75 : Changement de l'ordre des tabulations dans un formulaire "complexe" .....	123
Figure 76 : Affectation d'une procédure Visual Basic sur événement d'un champ de formulaire .....	124

## **TABLE DES TABLEAUX**

Tableau 1 : Structures du Ministère de l'Agriculture selon leur implantation administrative.....	18
Tableau 2 : Etapes de réalisation du SIRS pilote MERGUSIE.....	36
Tableau 3 : Etapes de réalisation des couches de fond cartographiques et photographiques .....	51
Tableau 4 : Choix et justification des couches de bases retenues.....	69
Tableau 5 : Choix et justification des couches élaborées retenues.....	82
Tableau 6 : Les étapes d'élaboration des MNT sous Spatial Analyst et Idrisi .....	84
Tableau 7 : Le Modèle Entité-Association (Niveau conceptuel).....	110
Tableau 8 : Le Modèle Physique de Données sous Access (Niveau physique) ou Relations entre les tables Access.....	114

## INTRODUCTION GENERALE

En Tunisie, la ressource en eau est globalement faible ( $450 \text{ m}^3/\text{habitant}/\text{an}^1$ ), irrégulière dans le temps et inégalement répartie dans l'espace. L'Etat a cherché à compenser ces problèmes par une forte mobilisation des ressources en eau et par des transferts inter-régionaux entre zones excédentaires et zones déficitaires. C'est ainsi que les trois dernières décennies de la Tunisie indépendante ont vu la réalisation de nombreux ouvrages hydrauliques (grands et petits barrages, lacs collinaires, canaux, aqueducs, forages...).

La "stratégie décennale de l'eau" pour 1990-2000 vise à parachever cette création de "ressources" par la mise en place des derniers grands ouvrages. D'ici l'an 2000, la mobilisation devrait atteindre 90% pour les eaux de surface et 100% pour les eaux souterraines (HORCHANI, 1994).

Parallèlement à ces aménagements, l'Etat tunisien a bâti un ensemble institutionnel, réglementaire et juridique pour planifier et gérer l'utilisation de la ressource en eau. Le code des Eaux pose les règles de base d'utilisation de l'eau, et une série d'institutions de niveaux national et régional est chargée d'élaborer les règlements concordants et de veiller à leur application.

Malgré cet ensemble de mesures, le bilan offre/demande devient de plus en plus déficitaire : l'Etat évalue les ressources actuellement exploitables à  $2\,700\text{--}3\,100$  millions de  $\text{m}^3$ , alors que la demande en 1996 était d'environ  $2\,500$  millions de  $\text{m}^3$  (KHANFIR & al, 1998) et continue d'augmenter chaque année. Le cas des aquifères pose particulièrement problème : les nappes souterraines constituent une part importante des ressources en eau de la Tunisie (environ 40%), dont à peu près  $1/3$  provient des nappes phréatiques. Ce sont des réserves importantes et stratégiques, puisqu'elles permettent de compenser par leur fonction de stockage les irrégularités du régime climatique méditerranéen, tout en évitant les pertes par évaporation. Or actuellement 38% des nappes phréatiques sont en phase de surexploitation (KHANFIR & al, 1998). Outre les risques environnementaux, cette baisse régulière des stocks souterrains ne sera pas sans conséquence sur l'agriculture qui est de loin la plus grande consommatrice (environ 80% des usages) et qui représente une part importante du paysage socio-économique tunisien.

<sup>1</sup> L'analyse mondiale de M. FALKENMARK situe à  $1000 \text{ m}^3/\text{h}/\text{an}$ , la dotation en-dessous de laquelle un pays est susceptible d'avoir des problèmes (in FEUILLETTE & al., 1998).

Les difficultés rencontrées dans la gestion des nappes en Tunisie remet en question l'adéquation des systèmes institutionnel et réglementaire au contexte actuel. Le Ministère de l'Agriculture a donc commandité une série d'études au niveau national qui préconisent des changements législatifs et suggèrent des voies de gestion différentes, comme la mise en place d'AIC<sup>2</sup>, et/ou de marchés de l'eau ; mesures déjà appliquées dans d'autres pays mais pas toujours adaptées au contexte tunisien.

Le Ministère de l'Agriculture favorise également le regroupement des compétences scientifiques nationales sur des projets de recherche pluridisciplinaires pour poser les bases raisonnées d'une gestion intégrée de l'eau à partir des situations observées sur des sites pilotes.

Le Programme National Mobilisateur MERGUSIE<sup>3</sup>, portant sur le cas du bassin du Merguellil qui participe à l'alimentation de la nappe de Kairouan, compte parmi ces projets. Composée de gestionnaires nationaux (Directions Techniques), régionaux (CRDA) et d'institutions de recherche tunisiennes et française, l'équipe se propose de comprendre le fonctionnement actuel de la ressource en eau modifiée par les aménagements sous diverses situations climatiques et de déterminer les facteurs principaux qui régissent les dynamiques entre ressource et usages dans le cadre de gestion actuel.

Différents types de modèles sont testés pour représenter le fonctionnement actuel de l'ensemble barrage/nappe/irriguants publics et privés dans le but de simuler postérieurement l'impact de changements dans les règles de gestion.

Parallèlement, un Système d'Information à Référence Spatiale<sup>4</sup> doit permettre de localiser toutes les entités retenues et pertinentes pour faciliter la compréhension des Ensembles Ressource Usages (ERU) et pour visualiser les résultats des simulations entreprises sur la zone pilote du projet. L'élaboration du SIRS est l'objet de ce projet de fin d'étude.

Dans un premier temps, nous présenterons la zone d'étude sous ses aspects géographiques, hydrologiques et socio-économiques afin de définir le cadre général et de poser les conditions d'élaboration du SIRS dans un second chapitre. Dans un troisième temps, nous détaillerons les outils et les phases de travail nécessaires au développement du SIG. Enfin, nous aborderons dans le quatrième chapitre le développement du Système de Gestion de Base de Données Relationnelles (SGBDR).

---

<sup>2</sup> Association d'Intérêt Collectif (association d'usagers de l'eau)

<sup>3</sup> Gestion intégrée de l'eau sur le bassin du Merguellil

<sup>4</sup> Système de Gestion de Base de Données Relationnelle associé avec un Système d'Information Géographique

## CHAPITRE I - PRESENTATION DE LA PLAINE DE KAIROUAN

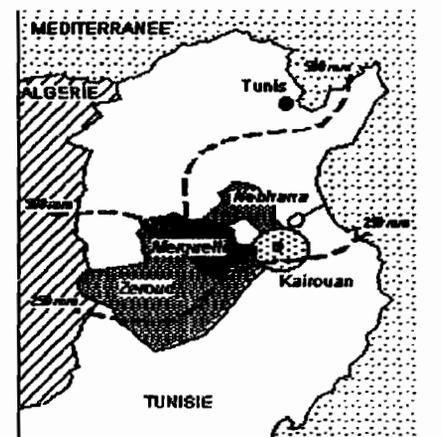
### I - CONTEXTE GEOGRAPHIQUE ET HYDROLOGIQUE

#### A - LE BASSIN VERSANT DU MERGUILLIL

Le bassin versant du Merguellil est situé dans la région centre de la Tunisie en climat semi-aride (entre 200 et 500 mm/an). Il fait partie d'un ensemble de bassins versants drainant le versant sud de la dorsale centrale tunisienne jusqu'à la plaine de Kairouan, comme l'indique la figure ci-dessous :

Figure 1 : Situation du Bassin versant du Merguellil en Tunisie

- bassins versants du Zeroud, du Merguellil et du Nebhana,
- ville de Kairouan et sa plaine environnante,



La totalité du bassin est comprise dans le gouvernorat de Kairouan, organisé en délégations, elles-mêmes subdivisées en secteurs. En plus de sa faible pluviométrie, cette région a été durant plusieurs années en marge du développement tunisien qui était plus centré sur la mise en valeur de la région Nord (vallée de la Medjerdah) et des régions côtières (aménagements touristiques). Actuellement, cette région centre est en plein essor économique (l'agriculture contribue pour une bonne part à cet essor) et l'Etat doit réviser sa politique de transferts d'eau de l'intérieur vers les côtes pour faire face aux demandes locales.

## **B - LA NAPPE ET LA PLAINE DE KAIROUAN**

### **1 - La nappe de Kairouan**

La nappe de Kairouan constitue le réservoir souterrain le plus important de la région Centre. Elle occupe un bassin endoréique de 3000 km<sup>2</sup> en recueillant les eaux des 3 bassins versants (le Zeroud, le Merguellil et le Nebhana) qui drainent la dorsale centrale tunisienne.

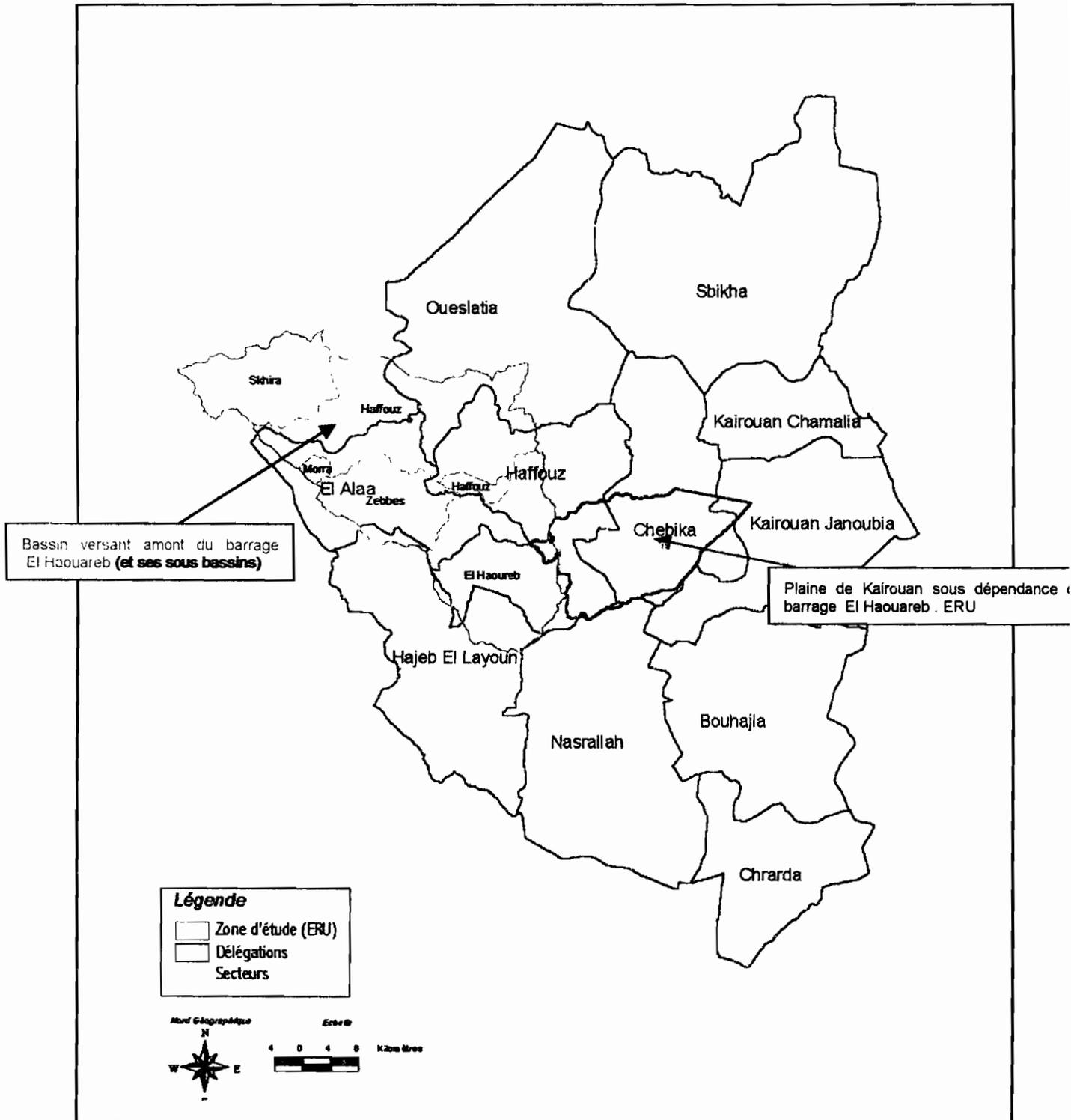
Ce réservoir, étudié depuis les années 1950, est un complexe lenticulaire formé par des dépôts sédimentaires successifs, ce qui rend son étude assez délicate. Globalement on distingue des niveaux superficiels ("la nappe phréatique"), et des niveaux plus profonds ("la nappe profonde"). En réalité, il s'agit d'une seule entité hydraulique constituée de plusieurs niveaux séparés par des couches semi-perméables, et communiquant plus ou moins entre eux. Les limites spatiales de la ressource hydrique souterraine reste difficile à déterminer. Aussi, nous circonscrivons la nappe selon la délimitation de la zone d'étude sus-jacente.

Postérieurement à la construction du grand barrage Nebhana, l'aménagement hydraulique de la nappe de Kairouan a été planifié par le Plan Directeur des Eaux du Centre : les barrages de Sidi Saad (1982) et d'El Haouareb (1990) retiennent la totalité des écoulements provenant respectivement des oueds Zeroud et Merguellil.

A l'origine, le barrage El Haouareb fut construit pour emmagasiner de très fortes crues afin de protéger la ville de Kairouan des inondations (PANTU, 1973). L'ouvrage est situé sur une série d'aquifères connectés et la retenue alimente en permanence la nappe aval par une recharge souterraine non contrôlée. La construction de l'évacuateur de crue provoque une vidange superficielle des nappes amont, qui vient s'écouler également en aval du barrage au-dessus de la nappe ("l'émergence") ; il s'agit d'une recharge superficielle de la nappe, peu maîtrisée. Par conséquent, le niveau de la retenue est généralement bas.

Dans cette étude, on s'intéressera plus particulièrement à la partie Est de la nappe sous dépendance directe de l'oued Merguellil, verrouillé par le barrage d'El Haouareb. Cependant, cette zone, plus communément appelée plaine de Kairouan, ne peut être considérée comme un système fermé; c'est pourquoi une attention particulière (notamment lors de la création de la base de données) sera accordée à toute la partie amont du barrage El Haouareb (cf. figure 2). Ne serait-ce que par les influences des aquifères, la plaine de Kairouan est indéniablement sous dépendance "d'entrées" et de "sorties" multiples et variables de façon spatiale et temporelle. Le choix de la plaine de Kairouan comme zone pilote se justifie par le fait qu'elle soit représentative du fonctionnement global du bassin (LE GOULVEN et RUF, 1996). Cette zone, appelée ensemble ressource usage (ERU), permet donc de jeter les bases et les fondements du SIRS.

Figure 2 : Situation géographique de l'Ensemble Ressource Usages pilote et limites administratives du gouvernorat de Kairouan

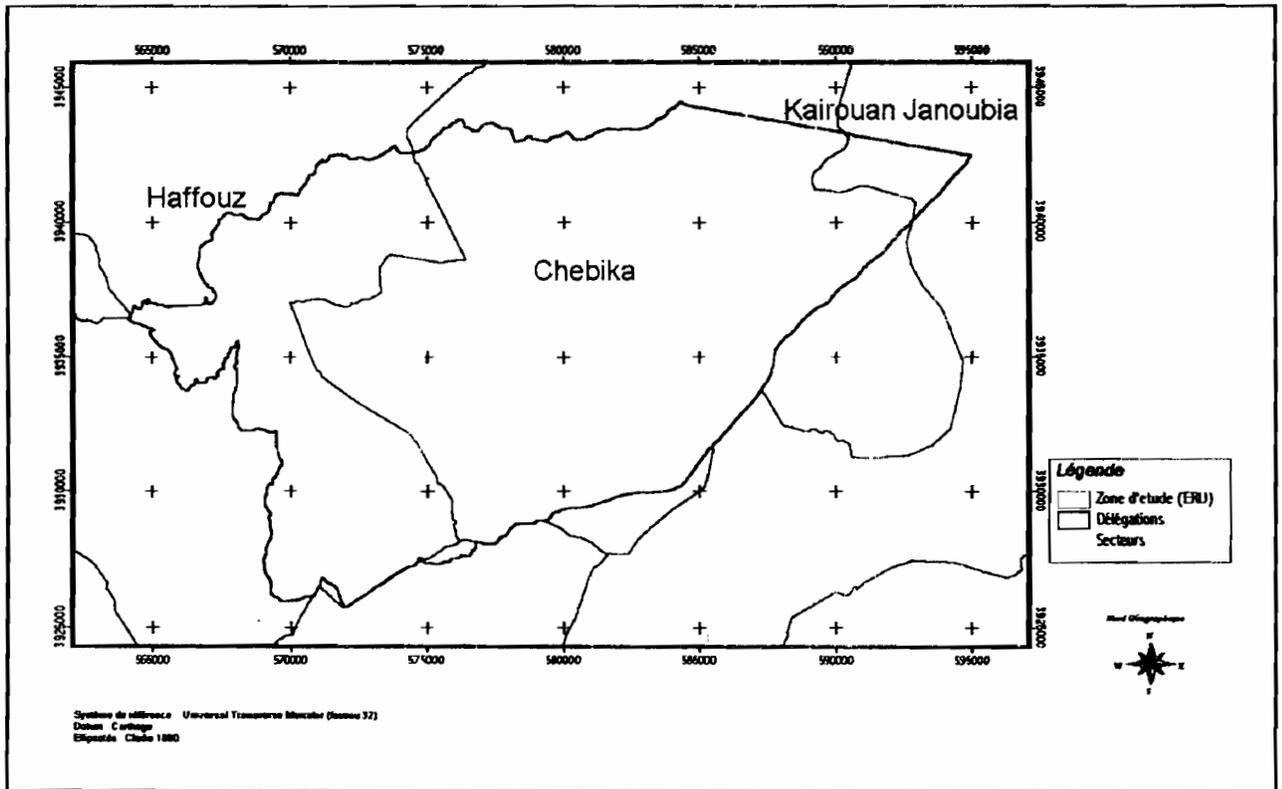


Sources : Mademoiselle DRIDI : thésarde à l'IRD (pour les limites du bassin et de sous bassins-versant amont du barrage El Haouareb); Madame MANSOURI . Responsable de la cellule SIG à l'arrondissement des sols du CRDA Kairouan (limites administratives, revues et corrigées lors de l'élaboration du présent SIRS)

## 2 - La plaine de Kairouan sous dépendance du barrage d'El Haouareb

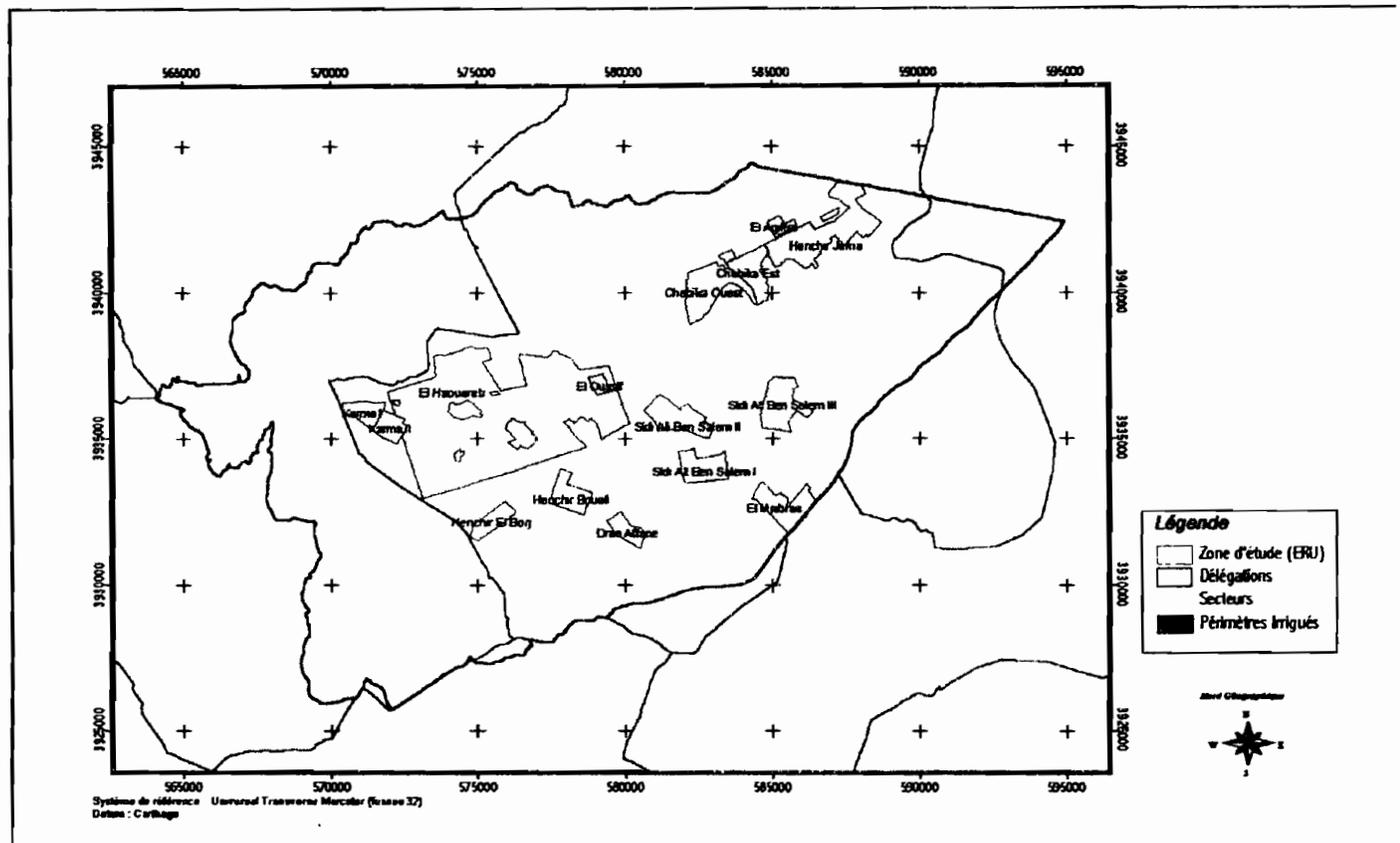
La plaine de Kairouan sous dépendance du barrage d'El Haouareb (définie comme un ERU) est comprise dans tout le gouvernorat et compte quatre délégations, d'Ouest en Est : Haffouz, Nasrallah, Chebika, et Kairouan Janoubia (DGAT, 1995). La délégation de Chebika couvre la plus grande partie de la plaine alors que le barrage El Haouareb se situe dans la délégation de Haffouz. La superficie de l'ERU est d'environ 320 km<sup>2</sup>.

Figure 3 : L'Ensemble Ressource Usages dans son contexte administratif



Cet Ensemble Ressource Usages compte 16 Périmètres Irrigués dont 9 sous tutelle du CRDA (PPI<sup>5</sup>) et 7 gérés en AIC<sup>6</sup>.

Figure 4 : Les Périmètres Irrigués de l'Ensemble Ressource Usages



Parmi les périmètres gérés en AIC, Melalsa (qui ne figure pas sur la carte ci-dessus) fut le premier de la délégation de Chebika (année de création : 1994). Les 6 autres AIC (L'Oussif, Sidi Ali Ben Salem 1 & 3, Hanchir Bou Ali, Draa Affene et Mjabra créées respectivement en 1970, 1957, 1957, 1970, 1979 et 1970) étaient auparavant gérés par le CRDA (PPI) (CRDA, 1999). Certains de ces périmètres sont actuellement en cours de réhabilitation.

A titre d'informations, l'annexe 1 décrit les particularités et le fonctionnement d'une AIC (cas de Melalsa, in FAYSSE, 1999). On pourra pour connaître les caractéristiques d'un PPI (exemple de Chebika Est) se référer à PEYTHIEU, 1998.

<sup>5</sup> Périmètre Public Irrigué

<sup>6</sup> Association d'Intérêt Collectif

## **II - CONTEXTE SOCIO-ECONOMIQUE**

### **A - LE CONTEXTE ADMINISTRATIF DU DEVELOPPEMENT AGRICOLE**

Il paraît important de présenter même brièvement les institutions tunisiennes régionales et locales dans la mesure où elles sont les représentantes de l'Etat et que nous travaillons en étroite collaboration avec ces structures ; que cela soit pour le recueil et les échanges d'informations, la collecte de données sur le terrain, etc. Le SIRS MERGUSIE s'adresse à tous ces acteurs. Aussi, il convient de bien connaître le rôle de chaque cellule, arrondissement ou centre administratif impliqués de près ou de loin dans la gestion de l'eau pour répondre à leurs besoins respectifs et communs.

#### **1 - Les institutions tunisiennes régionales et locales**

(Source : FAYSSE, 1999)

##### ***1. 1 - Le Commissariat Régional de Développement Agricole (CRDA)***

Le CRDA existait déjà dans les années 80, il n'a réellement pris de l'ampleur que lors de la décentralisation de 1989 (loi du 8 mars 1989). Lors de cette décentralisation, les CRDA sont passés du rang de Direction à celui de Direction Générale. Leur compétence s'étend sur toute la région administrative du gouvernorat. Ils s'occupent de l'agriculture et des ressources en eau.

Un organigramme récapitulatif du CRDA de Kairouan et quelques explications sur son rôle figure à l'annexe 2.

##### **1. 1. 1 - Les arrondissements du CRDA concernés par l'eau**

Le CRDA est constitué d'unités thématiques, les arrondissements. La plupart des arrondissements ont une tutelle à Tunis. Par exemple, les arrondissements du Génie Rural et de l'exploitation des PPI sont suivis par la DGGR<sup>7</sup>. Les arrondissements dépendent hiérarchiquement du Commissaire, mais ils sont formés et suivis par leur Direction Générale, qui défend aussi les budgets des projets nationaux dont ils font partie.

##### *L'arrondissement du Génie Rural*

*"Chargé de la réalisation des programmes et des projets d'hydraulique agricole d'eau potable rurale ainsi que d'équipement rural, il [s'occupe] également de la promotion et de l'encadrement des associations d'intérêt collectif." (décret du 29 juin 1989). L'arrondissement est suivi à Tunis par la DGGR; il possède 2 services : "aménagement hydraulique agricole" et "équipement rural".*

---

<sup>7</sup> Direction Générale du Génie Rural

Ses missions sont :

- l'AEP<sup>8</sup> en zone rurale ;
- la création et le suivi des AIC, aussi bien d'irrigation que d'eau potable.

Cette dernière mission est assurée par la cellule AIC, qui fait partie du service Equipement Rural.

#### *L'arrondissement de l'exploitation des PPI*

"Chargé de l'exploitation du réseau d'irrigation dans les PPI et la valorisation de l'utilisation des ressources hydrauliques dans l'ensemble des périmètres irrigués", cet arrondissement est aussi suivi par la DGGR. Ses missions sont la vente de l'eau dans les PPI, l'organisation des tours d'eau et la gestion des aiguadiers et des pompistes.

#### *L'arrondissement de la maintenance des PPI*

"Chargé d'assurer l'entretien du réseau d'irrigation, des infrastructures et des ouvrages hydrauliques", il dépend, à Tunis, de la DGGR. Ses missions sont la maintenance sur les PPI (réseau de pistes, réseau électrique, pompage) et sur les AIC d'AEP (pompage et réseau). Le travail est fait par des entreprises privées en général, et en régie en cas d'urgence.

Pour faire la distinction, l'arrondissement de maintenance des PPI gère les ouvrages lourds alors que celui de l'exploitation s'occupe du matériel "légers".

#### *L'arrondissement des ressources en eau*

"Chargé des études relatives au développement des ressources en eau ainsi que du contrôle du DPH," il dépend de la DGRE<sup>9</sup>. Cet arrondissement possède un service chargé des eaux souterraines et un autre chargé des eaux superficielles. Les missions de cet arrondissement sont :

- le suivi de la ressource et des usages, aboutissant à la constitution d'annuaires des ressources (nappes profondes et phréatiques) et des usages (forages et puits). Quand une nappe est commune à deux gouvernorats, c'est le gouvernorat qui en possède la plus grande part qui s'occupe du suivi. En pratique, l'annuaire des ressources est réalisé mais celui des usages n'est fait que dans la mesure des moyens de l'arrondissement. Ainsi, à

---

<sup>8</sup> Adduction en Eau Potable ?

<sup>9</sup> Direction Générale des Ressources en Eau

Kairouan, seuls les forages (au sens de prélèvement à une profondeur supérieur à 50m), sont inventoriés annuellement.

- la délivrance d'autorisations de prélèvement, étape obligatoire aussi bien pour un agriculteur que pour la SONEDE. De la même façon, les agents de l'arrondissement surveillent le travail des entreprises de forage.
- la Police des Eaux. Tous les techniciens de l'arrondissement sont assermentés et peuvent délivrer des procès-verbaux. Ces procès-verbaux iront au Bureau des Contentieux puis au Tribunal Administratif.
- la salinité des nappes, avec l'arrondissement des Sols.

#### *L'arrondissement de la Conservation des Eaux et des Sols*

"Chargé de la réalisation des programmes et projets de CES", l'arrondissement dépend, à Tunis, de la DGCES<sup>10</sup>, et comprend deux services : les "études et programmes" et le "suivi des travaux". L'arrondissement s'occupe de la conception et du suivi des projets de CES : lacs collinaires, barrages collinaires, tabias<sup>11</sup>...

#### *L'arrondissement Encouragement et Financement*

"Chargé de la supervision des actions d'octroi des crédits agricoles ainsi que de la promotion des structures professionnelles agricoles", cet arrondissement gère les aides, les subventions et les prêts accordés aux irriguants dont les pratiques sont conformes au Code des Eaux et aux décrets qui y font référence (électrification, politique d'économie d'eau : subvention du goutte à goutte, etc.).

#### *L'arrondissement des Sols*

"Chargé des études pédologiques et de la vocation des sols", l'arrondissement s'occupe, avec l'arrondissement des Ressources en Eau, des problèmes de salinité dans les périmètres irrigués. Il comprend également une cellule SIG qui travaille sur l'élaboration de cartes prochainement disponibles pour les arrondissements du CRDA qui le souhaitent;

---

<sup>10</sup> Direction Générale de la Conservation des Eaux et des Sols

<sup>11</sup> Banquette réalisée le long d'une courbe de niveau pour limiter le ruissellement et favoriser l'infiltration

**1. 1. 2 - Les représentations locales du Commissariat Régional de Développement Agricole (CRDA)**

Les structures locales du CRDA sont :

- les Centres Techniques de Vulgarisation Agricole (CTV) ;
- les Cellules de Rayonnement Agricole (CRA).

Ces représentations locales reproduisent la structure du Ministère de l'Intérieur :

*Tableau 1 : Structures du Ministère de l'Agriculture selon leur implantation administrative*

<b>Structure du Ministère de l'Intérieur</b>	<b>Structure du Ministère de l'Agriculture</b>
Gouvernorat	CRDA
Délégation	CTV
Secteur	CRA

Les CTV sont les représentations locales du CRDA dans chaque délégation. Ils suivent les productions agricoles de la délégation. Chaque CTV comporte plusieurs arrondissements thématiques, comme l'entretien des équipements, la forêt, le cheptel, la CES...

D'autre part, en pratique, la présence des CRA dépend beaucoup de l'emplacement des PPI ; un CRA peut couvrir plusieurs secteurs. Les agents du CRA sont les vulgarisateurs. Comme l'ensemble de l'administration, si leur mission s'étend en principe à tous les agriculteurs, ils s'occupent en pratique essentiellement des PPI.

**2 - Les partenaires du projet MERGUSIE**

Nous présenterons à titre d'indications les différents partenaires qui prennent part au projet MERGUSIE (Programme National Mobilisateur).

- **DGRE** : Direction Générale des Ressources en Eau
- **CRDA de Kairouan** : Commissariat Régional de Développement Agricole
- **DG/GR** : Direction Générale du Génie Rural
- **ENIT** : Ecole Nationale d'Ingénieur de Tunis, Laboratoire d'Hydraulique
- **INAT** : Institut National d'Agronomie de Tunis, Département. Génie Rural & Département. Economie Rurale / Groupe de Recherche sur l'Economie des Pratiques Agricoles et Alimentaires (GREPAA) associant des chercheurs de : l'INAT, l'INRAT<sup>12</sup>,

<sup>12</sup> INRAT : Institut National de Recherche Agronomique de Tunis

l'ESAM<sup>13</sup>, l'IHEC<sup>14</sup>, la Faculté des Sciences Economiques de Tunis et la Faculté de Droit de Sousse.

- **IRESA** : Institution de Recherche et d'Enseignement Supérieur Agricole
- **IRD (anciennement ORSTOM)** : Mission Tunis, Unité Gestion / Prog. 621 / UR 2 / Département RED & Laboratoire d'Hydrologie de Montpellier.

D'autres acteurs participent aux discussions du projet **MERGUSIE** :

- Directions Techniques (D/CES, DG/ETH, D/Sols) ;
- Institut National du Génie Rural et des Eaux et Forêts (INGREF).

Les participants sont regroupés en 4 grandes thématiques pour assurer une meilleure lisibilité du projet et une meilleure coordination des actions.

- Evaluation de la ressource
- Modélisation couplée des écoulements et des aquifères
- Contexte agro-socio-économique des usages de l'eau
- Aspects techniques des pratiques d'usages

En réalité, il n'y a pas de cloisonnement entre thématiques, chaque équipe étudie les mêmes objets d'études selon des perspectives différentes mais complémentaires par des interventions plus ou moins différées dans le temps, l'objectif final étant de connaître le fonctionnement global de chaque Ensemble Ressource Usages (ERU).

---

<sup>13</sup> ESAM : Ecole Supérieure d'Agriculture de Megrane

<sup>14</sup> IHEC : Institut des Hautes Etudes Commerciales

## **B - LES PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DE L'AGRICULTURE DANS LA PLAINE DE KAIROUAN**

### **1 - Les dernières mutations survenues dans le milieu agricole kairouanais**

Jusqu'aux années 30, l'agriculture était essentiellement basée sur le pastoralisme semi-nomade. Progressivement, les parcours ont été supplantés par des cultures céréalières avec le développement de la mécanisation.

Après l'indépendance, le modèle de développement de l'agriculture dans la région fut basé sur l'association de l'arboriculture en sec, essentiellement l'olivier et l'amandier, avec l'élevage et quelquefois les grandes cultures. Ce modèle a favorisé la création d'un habitat groupé facilitant le développement de l'infrastructure de base.

De vastes programmes de mise en valeur ont par la suite été instaurés. La plaine de Kairouan a alors connu une intensification agricole importante concomitante avec la création de périmètres irrigués. Des modifications structurelles par rapport au mode d'appropriation s'en sont suivies : les vastes parcours de jouissance collective ont laissé progressivement place à des micros-exploitations de plus en plus petites, ne pouvant en aucun cas assurer une activité et un revenu satisfaisant pour les familles.

Aujourd'hui, le potentiel productif agricole de la région représente environ 80 % de la superficie totale (DGAT, 1995). Les cultures irriguées contribuent pour une grande part aux revenus agricoles.

### **2 - Un bref aperçu sur le régime foncier**

La situation foncière n'est pas partout officialisée ce qui constitue un handicap pour l'accès au crédit agricole, nécessaire à la consolidation des petites et moyennes exploitations.

Il existe 3 types de propriétés foncières :

- privée : ces propriétés ne sont soumises à aucune réglementation. De même, la location ou la vente foncière s'effectue librement et à l'amiable entre le propriétaire et l'acquéreur.
- domaniale : les terres peuvent être louées à des privés sur la base d'un prix indexé sur le prix des céréales, mais ne peuvent être vendues à des particuliers.

La superficie moyenne de ces parcelles domaniales est généralement nettement supérieure aux parcelles privées.

- traditionnelle : elle concerne les terres des marabouts et certaines terres privées, où l'exploitant doit payer à l'Etat un droit symbolique à vie.

Sur la plaine de Kairouan, le mode de faire-valoir direct domine largement. Cependant, il existe divers modes de location : métayage, location annuelle sans droit de baux en contrepartie d'un ratio du chiffre d'affaire en argent pour le propriétaire, exploitation de la terre sur un certain nombre d'années avec aménagement d'un captage d'eau au frais de l'exploitant, etc.

Le droit de succession ou les héritages entre tous les enfants complexifie parfois extrêmement les liens d'appartenance dans la base de données. Ils peuvent être la cause de redondance.

De même, il convient d'éclaircir certains points quant au mode de faire-valoir :

Le FVI s'applique lorsque le propriétaire n'exploite pas sa terre, mais aussi dans le cas, où la femme ou la mère de(s) exploitant(s) est propriétaire de la terre. En revanche, lorsque les enfants exploitent le terrain de leur père propriétaire, on considère le mode de faire valoir, direct ! Ceci pour les raisons de successions ou d'héritages, car au décès de leur père, les enfants deviendront co-propriétaires. Les parts des enfants qui ne désirent pas exploiter sont divisées entre les descendants directs du père.

### **3 - Les principales cultures**

Les cultures sur la plaine de Kairouan sont inhérentes aux efforts de mobilisation de la ressource en eau, facilités par la présence des aquifères. La plupart d'entre elles sont irriguées par des puits de surface (64 %), des forages profonds (17 %) et des retenues d'eau (émergence et barrage environ 19 %) (DGAT, 1995).

L'analyse de l'occupation du sol au cours de cette dernière décennie montre une régression progressive des grandes cultures en faveur de l'arboriculture et des cultures maraîchères. La céréaliculture subsiste cependant dans certains grands périmètres irrigués (El Haouareb notamment).

Généralement, les cultures irriguées, parfois en intercalaire avec l'arboriculture, comptent parmi celles à plus forte valeur ajoutée sur le marché, à condition que l'offre ne soit pas supérieure à la demande, alors que l'arboriculture (parfois irriguée) garantit généralement des revenus stables.

#### **3. 1 - L'arboriculture**

L'arboriculture est dominée par l'olivier (de table et à huile), l'amandier et l'abricotier cultivés essentiellement en sec. Les superficies irriguées couvrent 7 % de la superficie arboricole (à l'échelle du gouvernorat). La production d'abricots situe le gouvernorat de Kairouan au premier rang national, alors que la production d'olives et celle des amandes place la "région" respectivement au second et troisième rang national. Les différents projets et programmes de développement, d'aide aux paysans (PDR, PDRI, PAAF, Fond Oléicole, CES, etc.) ont été à l'origine de la promotion de ce secteur. Les agrumes occupent une part infime dans l'arboriculture et se cantonnent à de petits secteurs (Awamria par exemple).

### **3. 2 - Les cultures maraîchères**

Elles ont évolué au rythme des aménagements des périmètres irrigués et occupent aujourd'hui une place de premier ordre sur les plans des productions et de l'emploi. Elles recouvrent une grande diversité d'espèces végétales parmi les cucurbitacées, les solanacées, les crucifères, etc.

### **3. 3 - Les cultures industrielles**

On trouve sur la plaine de Kairouan principalement le tabac, comme culture industrielle. Les exploitants s'approvisionnent en nature en semence à la Régie du Tabac (sous tutelle du ministère des Finances) à Kairouan, puis déduisent de leur récolte (vendue à la Régie) les coûts des semences (ISSAOUI, 1998). Les rendements restent encore modestes et en deçà de la valorisation de l'eau. Cette situation peut s'expliquer entre autre par un manque de technicité des agriculteurs, se traduisant par l'emploi irrationnel des facteurs de production et par une conduite mal appropriée des cultures.

### **4 - L'élevage**

L'élevage, dominée par les ovins, conserve un caractère extensif. Les paysans continuent à pratiquer des conduites traditionnelles, ne pouvant en aucun cas rentabiliser les potentialités existantes et les investissements réalisés. Les statistiques sur le gouvernorat montrent qu'il y a une tête ovine par habitant ou 1,35 tête en équivalent ovin par hectare de superficie totale agricole et 5 têtes en équivalent ovin par hectare de parcours et forêts (DGAT, 1995).

L'effectif toujours croissant du cheptel constitue une menace sur le milieu (dégradation des parcours et déficit fourrager toujours croissant). Il est estimé à plus de 100 millions d'unités fourragères par an (DGAT, 1995).

## **III - IRRIGATION ET RESSOURCES EN EAU**

### **A - LES DIFFERENTS TYPES D'USAGERS**

Actuellement, on recense sur la nappe de Kairouan les usagers suivants :

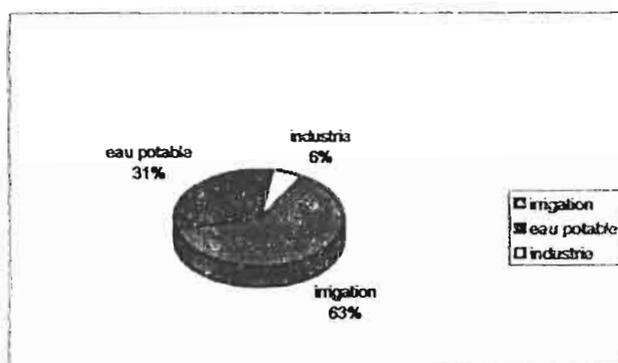
- les "producteurs" d'eau potable dont la SONEDE<sup>15</sup>, prestataire de services pour l'adduction en eau potable qui s'occupe notamment de l'approvisionnement en eau des villes touristiques de la "côte tunisienne" (Kairouan, Sousse, Monastir, etc.). Par ailleurs, il incombe à l'Etat par l'intermédiaire de la direction du Génie rural, l'approvisionnement en eau potable des populations rurales (bleds de moins de 500 habitants), non desservies par la SONEDE.

<sup>15</sup> Société Nationale d'Exploitation des Eaux

- les périmètres collectifs irrigués gérés par le CRDA ou une AIC, qui sont alimentés par des forages collectifs prélevant le plus souvent dans la nappe profonde. Les forages publics ont des profondeurs variant de moins de 100 m à 400 m et captent souvent plusieurs horizons.
- les irriguants privés, dont la plupart prélèvent l'eau dans la nappe par des puits individuels. Ils possèdent généralement des puits de surface, utilisés pour l'irrigation et parfois pour l'eau potable, et équipés de pompes centrifuges gazoil ou de plus en plus électrifiées (incitation de l'état à l'électrification).
- enfin les "industriels" (peu nombreux dans la plaine et situés le plus souvent vers la ville de Kairouan). Il faut signaler l'activité de l'entreprise *Sabrine* à Chebika qui produit et commercialise de l'eau en bouteille dans toute la Tunisie.

Le graphique ci-dessous représente la contribution de chaque secteur d'activité dans les prélèvements d'eau de forage en 1996 (BEBOULE, 1996).

Figure 5 : Contribution des différents secteurs d'activité dans les prélèvements par forage (Plaine de Kairouan - 1996)



Si les forages sont régulièrement inventoriés, et traditionnellement soumis à des autorisations publiques, les puits, du fait de leur grand nombre, ne le sont pas systématiquement et il demeure donc une grande incertitude quant à leur nombre et à l'impact de l'exploitation sur la nappe de Kairouan. Les difficultés rencontrées pour recenser tous les ouvrages hydrauliques de la plaine sont liées à l'évolution rapide des pratiques d'irrigation.

Les prélèvements sont répartis dans l'espace et dans le temps. Ils sollicitent des techniques et des coûts différents, des débits divers et sont employés à différents usages. La valorisation de l'eau est donc variable et les usages interfèrent.

## **B - LE CONTEXTE INSTITUTIONNEL DE L'IRRIGATION**

L'analyse du secteur agricole sous l'angle de la gestion de l'eau fait apparaître trois cas de figures principaux : les "périmètres publics" (PPI), les Associations d'Intérêt Collectif (AIC) et les "périmètres privés". Dans ces trois cas, l'agriculteur gère son assolement, ses achats d'intrants et la commercialisation de ses produits. Le financement, la conception et la gestion de l'ouvrage de captage et parfois de distribution sont les critères de différenciation de ces classes :

- dans le cas des PPI, les investissements, les aménagements, la gestion des ouvrages et leur renouvellement depuis le captage jusqu'aux bornes de distribution sont à la charge de l'Etat, qui en contrepartie fait payer l'eau (au mètre cube) aux agriculteurs bénéficiaires. Le prix du mètre cube d'eau publique en sortie du forage du PPI est officiellement le même dans tous les PPI (actuellement 70 millimes/m<sup>3</sup>) sauf pour El Haouareb où le mètre cube d'eau publique est de 55 millimes. Ces agriculteurs sont par ailleurs incités à suivre les recommandations de l'Etat en termes de choix culturaux et d'itinéraires techniques ;

Dans la plaine de Kairouan, on dénombre aujourd'hui environ 19 forages fonctionnels publics alimentant les 9 PPI de la zone, alors que 7 forages publics ont été rétrocédés aux AIC mixte (eau potable et eau destinée à l'agriculture) ou d'irrigation (CRDA, 1998).

- dans le second cas, une association d'intérêt collectif est créée par l'administration pour gérer un captage parfois pourvu d'un réseau de distribution, le tout étant mis en place par l'Etat et supervisé par la cellule AIC de l'arrondissement du Génie Rural ; les exploitants agricoles créent un comité local qui est chargé de gérer les tours d'eau et le règlement du volume d'eau exhauré pour chaque agriculteur demandeur (FAYSSE, 1999).
- enfin dans le cas des privés, l'ensemble des aménagements et de la gestion sont à la charge de l'exploitant ou du groupe d'exploitants, avec parfois le soutien de l'Etat sous forme de prêts ou de subventions. Une grande diversité de situations existe, allant d'un point seul d'eau partagé par un ou plusieurs agriculteurs, à plusieurs types de points d'eau pour un agriculteur et des "locations" de points d'eau associés à une terre.

Il faut signaler également la création d'une "zone de sauvegarde" qui englobe une partie de l'ensemble ressource usage pilote dans sa partie Est. Constituée en 1991, cette zone de protection couvre une superficie de 200 Km<sup>2</sup>, au sein de laquelle tout nouveau captage est interdit. Un décret particulier (proposition de la DRE à la DGRE qui transmet au Domaine Public Hydraulique, lequel discute et propose le décret à la signature du président de la République) basé notamment sur les abaissements de nappe constatés et la densité des puits de surface fait référence à cette zone de sauvegarde.

### C - DES PRATIQUES D'IRRIGATION CHANGEANTES

Durant la "phase de mobilisation" (cf. Annexe 3 : Analyse diachronique de la gestion de l'eau en Tunisie), soit de 1960 à 1990, le nombre de puits a fortement augmenté grâce aux incitations de l'Etat et à l'introduction des motopompes centrifuges qui sont venus remplacer le dalou traditionnel : d'une centaine dans les années 1960, on est passé à 1311 puits en 1973, 2039 en 1980, pour atteindre 2833 puits en 1985 (BÉBOULE, 1996).

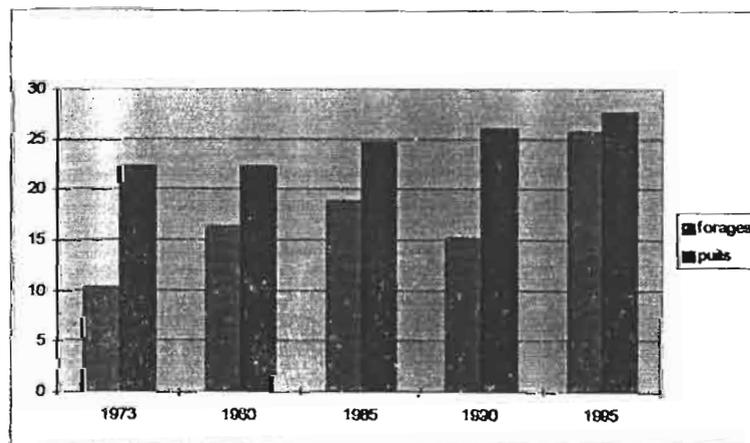
La nappe de Kairouan est en grande partie déclarée périmètre de sauvegarde par un décret datant de 1991. Cependant, les chiffres officiels, confirmés par les données de terrain, montrent que ce décret n'a pas empêché la prolifération des captages.

Si, d'après les chiffres annoncés, le rythme d'apparition des puits a diminué des 2/3 sur la période 1990-95 par rapport à la période 1985-90, il reste conséquent, et dans le même temps celui des forages a doublé. Officiellement, aucune subvention n'est plus accordée sur la construction des puits, ce qui a sans doute contribué au ralentissement de leur progression.

Par ailleurs, l'irrigation publique a connu à partir des années 1980 une extension notable avec la création de nombreux PPI, gérés d'abord par l'OMIVAK<sup>16</sup>, ensuite par le CRDA, puis de plus en plus en AIC.

Contrairement aux puits de surface dont le dernier inventaire exhaustif remonte à 1985, les forages sont bien identifiés. Les chiffres annoncés annuellement depuis correspondent à une estimation indirecte. On peut toutefois se baser sur les bilans établis officiellement, dont la comparaison selon les époques donne une idée de l'évolution de l'exploitation (BÉBOULE, 1996) :

Figure 6 : Evolution de l'exploitation en eau dans la plaine de Kairouan par type de prise d'eau



<sup>16</sup> Office de Mise en Valeur de Kairouan

Pour les puits, l'exploitation est calculée à partir d'un débit fictif continu par unité, pompé seulement dans la nappe phréatique (simplification peu réaliste). Selon ce graphique, le renouvellement annuel de la nappe phréatique évalué à 26 millions de m<sup>3</sup> serait totalement pompé. De plus, l'inventaire pratiqué sur échantillons laisse penser que l'effectif officiel des puits est sous-estimé dans certaines zones (jusqu'à 30% par rapport à la réalité).

Mais l'abaissement continu de la nappe au fil des années a mis à sec la plupart des puits de surface sur la plaine. C'est pourquoi, depuis 5 à 6 années, bon nombre d'agriculteurs ont eu recours à de nouvelles techniques de sondages manuels qui permettent pour un moindre coût (par rapport au coût de création d'un forage) de puiser l'eau dans des couches de nappes plus profondes. Aussi, il n'est pas rare de constater deux voire trois sondages à bras par puits, chacun muni d'une pompe. L'arrondissement des ressources en eau du CRDA désapprouve la multiplication de ces ouvrages, qui captent l'eau à des profondeurs parfois supérieures à 50 m, sans autorisation. Pourtant il semble que ces ouvrages aient été encouragés voire initiés par la DRE<sup>17</sup> vers la fin des années 1970 (Adaptation des tubes filtrants aux sondages à bras) qui y voyait alors un moyen accessible pour l'agriculteur d'augmenter la productivité des puits et de réduire la salinité de l'eau d'irrigation.

D'après l'administration, cette pratique touche "90 % des usagers". Aucun conflit déclaré n'est relevé sur l'usage de la ressource.

- Les exploitants attribuent les baisses de niveau à la sécheresse ou aux barrages qui retiennent l'eau du Merguellil et du Zeroud, mais pas à la surexploitation. Il n'y a pas de consensus autour de la ressource. Chacun prélève pour soi et lorsque la ressource baisse trop, on approfondit le forage manuel pour aller capter une autre "veine souterraine". Les agriculteurs pourvus de ces aménagements ou bien de forages considèrent que l'eau n'est pas chère et n'ont donc pas de souci d'économie d'eau. La plupart pratiquent l'irrigation de submersion ou d'aspersion et quelques-uns adoptent la technique du microjet ou goutte à goutte.
- Il peut arriver que l'agriculteur propriétaire de la prise d'eau permette à un autre exploitant d'utiliser l'eau de sa prise d'eau et qu'en contrepartie l'exploitant bénéficiaire cède une partie de sa terre "gratuitement" pendant un nombre de saisons fixées à l'amiable. On peut aussi trouver des voisins qui s'entraident en se prêtant mutuellement leur captage en cas d'insuffisance ou de panne (BEN HAMOUDA, 1999).

Ces puits individuels de surface rallongés par un ou plusieurs sondages manuels peuvent être construits à l'intérieur même d'un périmètre public irrigué ou d'une AIC ou dans la zone de sauvegarde de la nappe de Kairouan. En raison du prix plus élevé de l'eau "publique" en sortie de forage et de sa moins grande disponibilité à la parcelle, les exploitants utilisent de préférence l'eau de leur sondage à bras sans autorisation préalable. Ils ont alors une sécurité d'approvisionnement car il est possible de pallier rapidement aux défaillances éventuelles du

<sup>17</sup> Direction des Ressources en Eau

système d'irrigation public et de satisfaire les besoins en eau des cultures de manière plus flexible. Il en résulte que l'infrastructure de distribution du PPI n'est pas utilisée à pleine capacité et les recettes du PPI ne sont pas suffisantes comparées aux coûts d'investissement initiaux et au coût de fonctionnement et de maintenance des infrastructures.

Cette apparition de puits individuels dans les PPI remet finalement en cause le schéma proposé par l'Etat (gestion des périmètres irrigués par des AIC) et pose le problème de l'application des règlements par les usagers du secteur privé.

## **IV - PROBLEMATIQUE**

### **A - L'ABAISSMENT GENERALISE DE LA NAPPE**

La prolifération de ces "nouveaux puits" et des forages n'a pas été sans conséquence sur la ressource hydrique souterraine. On constate un abaissement généralisé de la nappe à partir de 1977 (niveaux stables entre 1968 et 1977). En l'espace de 13 années (de 1977 à 1989), l'abaissement obtenu par le suivi des niveaux piézométriques de surface du Merguellil varie entre 3 et 7 m. Cet abaissement peut être également lié à la baisse d'approvisionnement du fait d'une longue période de sécheresse et de la fermeture des barrages (BEBOULE, 1996).

Localisées au début, généralisées depuis les années 1980, ces baisses (calculées sur des pas de temps pluriannuels et une base généralement mensuelle) varient entre 0,5 et 3 mètres par an et ne semblent pas décroître.

Si ces chiffres sont peu alarmants dans l'absolu au vu de la capacité de la nappe, ils ont déjà entraîné l'assèchement des puits situés sur les bords de la nappe et l'approfondissement fréquent de la quasi-totalité des captages au moyen de forages manuels rudimentaires. Enfin, si la nappe ne présente pas de risque de contamination par biseau salé, le creusement de ces "puits/forages" conduira à terme à des niveaux de moins bonne qualité, et provoque déjà un surcoût économique pour l'exploitant.

On ne peut pas dire cependant que la raréfaction de la ressource ait entraîné un "déplacement" des usages de la périphérie de la nappe vers son centre même si la densité de puits muni de sondage à bras demeure plus importante dans la zone centrale de la nappe.

### **B - LES IRRIGUANTS PRIVES FACE AUX OUTILS REGLEMENTAIRES**

Comme nous l'avons vu précédemment, les exploitants de puits ou de forages individuels quel qu'ils soient, ne payent pas l'eau (en toute rigueur ils devraient payer une concession à l'Etat, mais personne, y compris le secteur public, n'applique cette règle); dans ces conditions les outils réglementaires constituent des leviers d'action précieux pour la gestion du système.

Malgré la règle en vigueur, aucune demande d'autorisation pour effectuer un sondage (dont la profondeur excède 50 m., limite officielle pour les puits sans autorisation.) n'est faite auprès des services déconcentrés du ministère de l'Agriculture.

Difficile pour la police des eaux d'intervenir car les puits sont nombreux, et l'accès des sondages à bras, situés au fond des puits, est impossible. Ces adaptations techniques profitent d'un vide juridique, la loi n'ayant pas prévu leur existence. Les agents de la police des eaux n'interviennent donc qu'en cas de conflit entre usagers donnant lieu à plainte ; dans ce cas il y a procès verbal. Ces plaintes sont rares sur la nappe de Kairouan, car la densité des puits n'étant pas suffisante pour provoquer interférences entre puits (qui profitent également de la structure anisotrope du réservoir), les usagers peuvent pomper simultanément sans problème. Malgré le risque de rupture du système si l'exploitation continue de progresser ainsi, l'administration se trouve fatalement bloquée par sa double fonction : d'une part promouvoir le développement régional, d'autre part, veiller à l'application des règles en vigueur. Le premier objectif est fortement défendu par les représentants locaux du Ministère de l'Intérieur, seuls relais avec la population rurale. Cependant, les circonstances locales, le sentiment d'appartenance peut-être, les appuis divers ont tendance à faire basculer la réalité de terrain du côté du développement immédiat, au détriment de la sauvegarde de la nappe.

En d'autres termes, non seulement les procès verbaux ne sont pas distribués, mais la prolifération des puits est indirectement favorisée : électrification des puits de certaines zones, campagnes exceptionnelles de développement local subventionnant la mise en place de puits, distribution gratuite de gasoil aux agriculteurs de l'UTAP<sup>18</sup>, etc. Même les subventions destinées à augmenter l'efficacité de l'irrigation sont sans effet à l'échelle de la ressource : la pompe étant installée, le volume économisé permettra à l'agriculteur d'irriguer une nouvelle parcelle en location par exemple (FEUILLETTE & al., 1998).

L'administration a également tenté d'enrayer le phénomène d'approfondissement des puits par une réglementation des entreprises de construction des puits et forages (décret n° 97-2082). Mais, faute de moyens peut-être, agilité des entrepreneurs sans doute, les entreprises déclarées illégales n'ont pas cessé pour autant leurs activités.

Par ailleurs, une imprécision terminologique règne entre théorie et réalité ; ce qui ne facilite pas la réglementation. En effet, les puits, qui officiellement sont censés ne capter que les nappes phréatiques, donc ne pas dépasser les 50 mètres de profondeur (limites administratives du niveau de la nappe phréatique), et se distinguer nettement des forages sur le plan technique, peuvent être prolongés par des forages manuels, atteindre les 100 m de profondeur, et capter des horizons en charge. De même, l'hydrogéologue du CRDA est confronté à trois définitions de nappes phréatiques et profondes qu'il doit combiner pour étudier le système : législative (en deçà et au-delà de 50 m de profondeur), administrative (la nappe superficielle surmonte la nappe profonde), et scientifique (nappe à surface libre ou en charge).

On perçoit alors à travers ces ambiguïtés et ce vide juridique que *"pour atteindre ses objectifs [la nouvelle politique de l'eau], la Tunisie doit améliorer la législation de l'eau, faciliter*

---

<sup>18</sup> Union Tunisienne de l'Agriculture et de la Pêche

*son application, et instaurer des institutions qui permettent une meilleure gestion de la demande au niveau des différents secteurs socio-économiques" (KHANFIR & al., 1996).*

Mais il est difficile actuellement de concevoir des outils de contrôle réellement efficaces et acceptés par tous (irrigation publique et privée). L'électrification de toutes les pompes et une tarification adéquate sur la consommation électrique est une solution envisageable pour faciliter le contrôle. Le regroupement de plusieurs exploitants privés en AIC est également une hypothèse à étudier. Plusieurs pistes sont actuellement explorées, encore faut-il connaître réellement les dysfonctionnements du système actuel tout en les replaçant dans leur contexte spatio-temporel.

## **CHAPITRE II - LA REALISATION D'UN SIRS : CONCEPTS ET INTERETS POUR LE PROJET MERGUSIE**

### **I - INTRODUCTION**

De plus en plus, dans les projets de gestion intégrée de l'eau, le gestionnaire est amené à considérer la demande en eau et sa valorisation. Particulièrement dans un contexte où la ressource se raréfie, on encourage l'ajustement de la demande à l'offre.

Pour faire face à l'abaissement de la nappe et à la multiplication des puits de surface munis de sondage à bras, le CRDA de Kairouan a décidé de diminuer la pression des prélèvements sur la plaine de Kairouan pour ne pas "hypothéquer le bien agricole de demain". Deux approches sont préconisées :

- le renforcement ou les révisions des lois et règlements,
- l'application d'une tarification différentielle de l'eau.

Jusqu'à présent, ces leviers d'actions sont appliqués de manière figée et homogène sur toute la plaine. Or, la prise en compte de la variabilité spatio-temporelle du milieu et des prélèvements destinés à des usages divers s'avère être un moyen plus souple pour ajuster la demande en eau selon l'offre.

En organisant et en spatialisant l'information, le SIRS s'avère être un outil d'aide à la décision pertinent et puissant car il permet de mieux connaître les variations spatio-temporelles :

- des ressources :
  - souterraines :
    - approche quantitative : déphasage de la recharge de la nappe selon l'influence et la proximité des barrages El Haouareb et Sidi Saad et des oueds Zeroud et Merguellil, zones préférentielles d'abaissement ou de fort rabattement, etc.
    - approche qualitative : évolution de la salinité dans les eaux souterraines
  - superficielles :
    - les retenues d'eau artificielles et en particulier le barrage El Haouareb,
    - l'émergence du barrage El Haouareb

- des divers usages agricoles qui :
  - dépendent en grande partie des sources d'eau parfois interconnectées (des données calculées par des modèles hydrauliques explicatifs pourront être reliées au SIRS)
  - et induisent des pressions de prélèvements (répartition, densité et contribution respective des prélèvements) variables dans l'espace et le temps.

Plus que de spatialiser l'information, le SIRS doit intégrer les liens dynamiques entre ces informations à référence spatiale et les données connexes qui en dépendent. La liaison entre Ressources et Usages revient par exemple à considérer l'accès à l'eau.

Le gestionnaire doit être en mesure de savoir qui pompe dans tels et tels types de ressource et remonter ainsi aux exploitations (établissement d'une typologie agricole liée à la base de données et à la plus petite entité géographique : la parcelle) concernées par l'action des leviers précédemment cités.

En définitive, le SIRS devrait permettre au gestionnaire de prévoir ou de revoir en tout temps les mesures envisagées ou préconisées sur une partie de la plaine de Kairouan. Ainsi, des simulations permettraient de définir l'impact d'une décision sur la ressource et les usagers agricoles.

Après avoir présenté les intérêts et les objectifs du SIRS MERGUSIE, il est primordial de s'interroger sur des points fondamentaux et d'essayer, après y avoir répondu du mieux possible, de garder à l'esprit tout au long de l'élaboration du SIRS les questions suivantes (BOHNET, 1994) :

- A qui s'adresse le SIRS ?
- Quelles sont les attentes (communes et respectives) des principaux utilisateurs ?
- Quels sont alors les moyens à mettre en œuvre pour y répondre ?
- Quelles échelles de temps et d'espace faut-il retenir ?

Ce SIRS est avant tout un outil expérimental qui, s'il satisfait aux exigences du gestionnaire et des principaux intéressés, doit être généralisable à d'autres régions ou zones irriguées (BOHNET, 1994). Aussi, dans les chapitres II et III relatifs au développement du SIG et du SGBDR, nous présenterons les étapes successives d'élaboration de manière illustrée et détaillée ; ceci pour faciliter la compréhension des futurs utilisateurs du SIRS et pour faire en sorte qu'ils puissent s'inspirer de la méthode pour actualiser l'outil ou en développer d'autres. Il doit donc être "souple", efficient et facile d'utilisation.

Dans la partie à suivre, nous nous attacherons tout d'abord à présenter le SIRS dans ses généralités, avant de détailler la méthode retenue pour son élaboration.

## **II - SYSTEME D'INFORMATION A REFERENCE SPATIALE : CONCEPTS ET METHODE**

### **A - GENERALITES SUR LES SIRS**

#### **1 - Définitions**

*Un système d'information est un ensemble de processus s'appliquant à des données brutes afin de produire une information pertinente en vue d'une prise de décision. Un système d'information géographique utilise indifféremment des données avec ou sans référence spatiale et comprend des modules d'analyse spatiale. Il est conçu afin de permettre la manipulation, l'analyse, la modélisation, la gestion et la représentation de données à référence spatiale en vue de résoudre des problèmes complexes de gestion et de planification (GOODCHILD et al., 1996).*

Enregistrer l'information sur le territoire est la fonction première des SIG mais il est peu fréquent de rencontrer des systèmes qui ne font que ça. Certaines expériences malheureuses ont révélé que l'effort de numérisation de la réalité géographique, s'il n'est pas structuré par un modèle de données adéquat, donne lieu à un système qui permet d'afficher graphiquement l'information, mais qui reste très fermé et ne permet pas les requêtes. Pour éviter cet écueil, nous placerons les informations géographiques générées à l'aide du SIG dans un système "englobant" : le SIRS (PRELAZ-DROUX, 1995).

Les SIRS combinent un logiciel classique de base de données à un autre de cartographie (ou SIG). L'approche géomatique conduit à la mise en place d'un système d'information à référence spatiale. Un SIRS est donc composé d'un ensemble de logiciels, d'ordinateurs et de périphériques graphiques. Il comprend également les ressources humaines et matérielles coordonnées vers l'atteinte d'un objectif (PORNON, 1998). En définitive, il correspond à une structure organisationnelle permettant une meilleure acquisition et communication des données sur le territoire.

Les principales normes établies par l'Agence Française de Normalisation qui portent sur les SIRS sont :

- "XP ENV 12661:1998"<sup>19</sup> . Elle spécifie la façon dont est décrit un système d'identificateurs géographiques et définit les attributs d'une localisation ainsi que le contenu d'un index de localisations ;
- et "XP ENV 12762:1998". Elle définit les concepts de base relatifs aux informations de position basées sur des coordonnées et fournit les informations nécessaires à l'utilisation des systèmes de référence géodésiques dans le cadre des informations géographiques.

---

<sup>19</sup> s'applique aux systèmes de références spatiales qui ne sont pas basés sur des coordonnées.

## **2 - Cadre théorique conceptuel**

### **2.1 - La structuration de l'information**

La structuration de l'information, garant du bon fonctionnement des SIRS, est une notion à prendre impérativement en compte lors de leur élaboration (PANTAZIS et DONNAY, 1996). Elle concerne :

- la structuration logique, ou l'organisation logique des données en tables relationnelles ou en couches matricielles ;
- la structuration des fichiers informatiques, dont il faut connaître les rudiments pour être en mesure de maîtriser le transcodage de fichiers, c'est-à-dire le passage d'un format à un autre ;
- la structuration multi-logiciels ou, en d'autres termes, l'assemblage de plusieurs logiciels visant à regrouper, si possible sous une interface unique, l'ensemble des fonctions de plusieurs programmes.

Pour arriver à prendre en considération tous ces niveaux d'organisation, il faut au préalable modéliser la réalité du "terrain".

### **2.2 - La modélisation de la réalité**

La modélisation de la réalité constitue la première étape de réalisation d'un système d'information. Dans le cas des systèmes d'information géographique, il faut essentiellement prévoir comment les différentes entités seront réparties en couches, par quel type d'éléments graphiques (ou cartographiques) elles seront représentées, et comment elles seront logiquement reliées entre elles.

#### **2.2.1 - La modélisation cartographique**

La modélisation cartographique peut s'appliquer aux couches vectorielles ou matricielles mais est beaucoup plus développée dans le premier cas. Ceci tient au fait que la notion d'objet n'existe pas à proprement parler dans le mode matriciel. Le choix de représentation par un objet cartographique ne se présente donc pas directement.

#### **2.2.2 - La modélisation entité-relation**

La modélisation entité-relation consiste à schématiser la portion du monde réel qui sera représentée dans une base de données. On y voit principalement les entités et des relations entre entités (SOUQUES, 1999). Chaque entité comprend des champs qui les caractérisent

(MAINE et HERZ, 1985). Ces relations dans le modèle conceptuel de données<sup>20</sup>, souvent formalisées par un verbe d'action, peuvent traduire des notions :

- d'appartenance entre "entités physiques" (exemple : un propriétaire foncier *P* possède les parcelles *Pa1*, *Pa2* et *Pa10*) ou entre objets d'une "entité géographique" (exemple : parmi l'entité géographique<sup>21</sup> *Périmètre irrigué*, le PPI *El Haouareb* comprend strictement la parcelle *Pa2* et *Pa10*) ;
- de contiguïté entre "entités géographiques" (exemple : parmi "l'entité géographique" *Périmètre irrigué*, le PPI de *Karma I* partage deux frontières<sup>22</sup> communes avec le PPI *Karma II* alors que parmi "l'entité géographique" *Parcelles* les objets *Pa3*, *Pa4* et *Pa5* ne partagent aucune frontière),
- de superposition entre "entités géographiques", etc.

Ces notions, lorsqu'elles concernent des entités géographiques, font appel à des concepts topologiques, bases des SIG.

A la fois un outil de conception et de communication, le schéma conceptuel résulte de la modélisation entité-relation. Il est possible de structurer une base de données sans pour autant effectuer une modélisation préalable. Toutefois, on considère que cette opération comporte les avantages suivants :

- La distinction entre le niveau conceptuel et le niveau "implantation" rend le travail de conception plus simple et plus clair ;
- La modélisation conceptuelle n'est pas entravée par les limites du SGBD sur lequel la base de donnée sera implantée (elle fait abstraction de l'outil retenu ultérieurement) ;
- Le schéma conceptuel est plus stable que la structure d'une base de données, qui changera lorsqu'on transfère les données d'un système à un autre ;
- Le schéma entité-relation peut être plus aisément compris que la structure des données par quelqu'un qui connaît peu les systèmes d'information.
- Le perfectionnement de la base de données par un nouvel intervenant est facilité par le schéma conceptuel.

---

<sup>20</sup> premier niveau de conception et de développement de systèmes d'information selon la méthode MERISE

<sup>21</sup> souvent appelée dans le jargon des géomaticiens, couches ou thème.

<sup>22</sup> encore appelée Arc en géomatique

Pour informations complémentaires, des définitions relatives à la modélisation entité-relation proposée par Chen<sup>23</sup> et à la normalisation (1977) figurent en annexe 4.

En résumé, la réalisation d'un système d'information géographique demande de modéliser la réalité, et de traduire le modèle conceptuel par une structure dans laquelle seront placées les données. Le type de requêtes que l'on voudra pouvoir effectuer est un des facteurs importants qui déterminera la structure de la base de données.

## **B - METHODE RETENUE POUR LE SIRS DU PROJET MERGUSIE**

### **1 - Préambule**

Dans la plaine de Kairouan, nous avons constaté que bien souvent les usages interfèrent les uns sur les autres, de manière plus ou moins directe. Sans dissocier la ressource des usages, on doit être en mesure d'évaluer, dans l'espace et dans le temps, la contribution et les conséquences respectives de chacun des types d'usage sur les ressources (VIDAL, 1998 ; LUPERCIO & al., 1999).

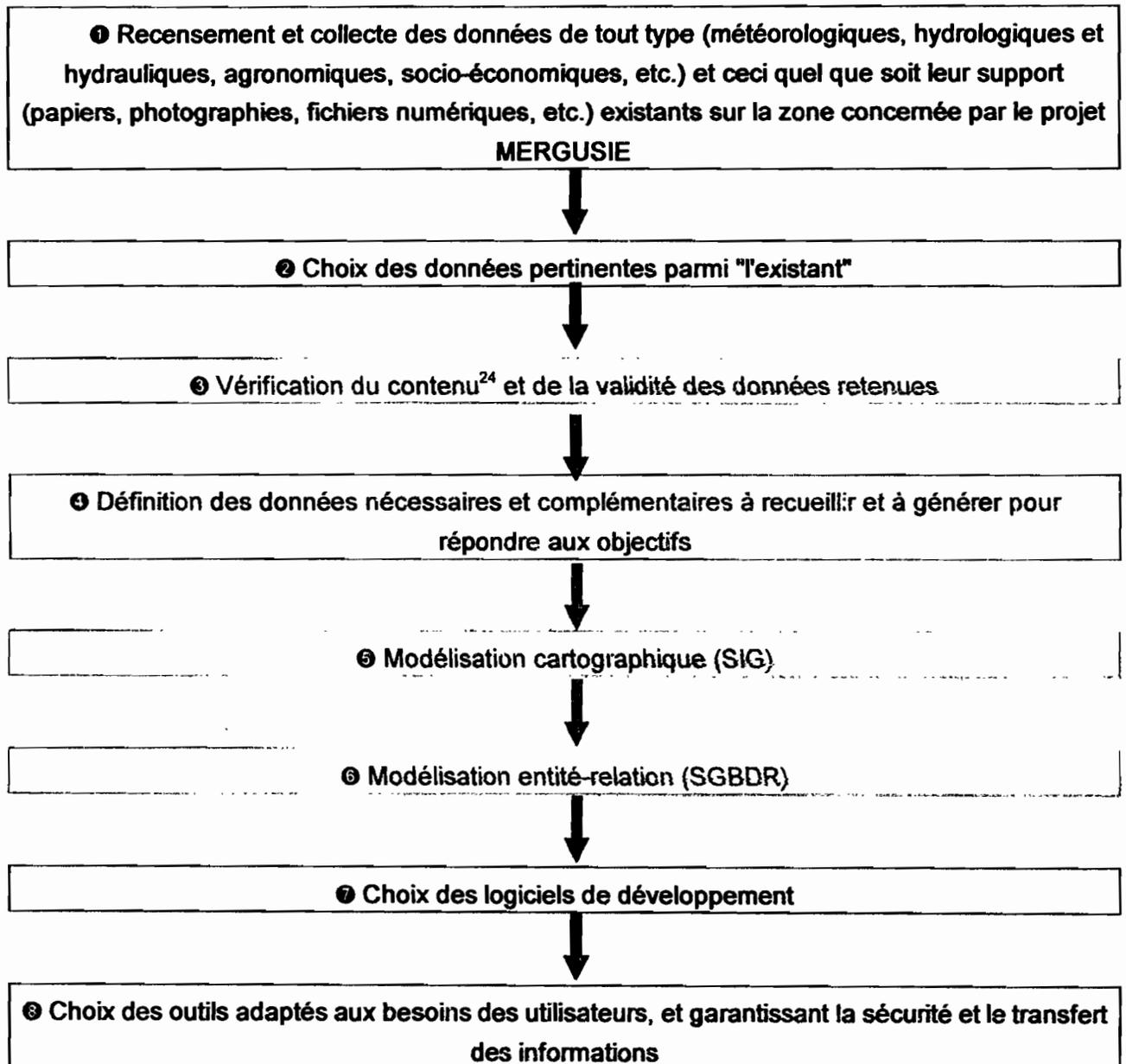
De même, si les problèmes relatifs à la qualité de l'eau ne sont pas alarmants, il semble intéressant d'intégrer dans le SIRS l'aspect qualitatif de la ressource afin de prévenir et prendre conscience du problème de salinité qui pourrait nettement influencer les usages dans les années à venir. De nombreux systèmes irrigués dans le monde et particulièrement en Tunisie (basse vallée de la Medjerdah) souffrent d'une teneur élevée en sel dans l'eau et le sol.

---

<sup>23</sup> Pionnier dans le domaine, CHEN a influencé beaucoup de méthodes comme la très populaire méthode de modélisation appelée MERISE ou même la modélisation-objet proposée par RUMBAUGH & al. (1991) qui peut s'en apparenter sur certains aspects.

## 2 - Protocole général

Tableau 2 : Etapes de réalisation du SIRS pilote MERGUSIE



Ce diagramme présente le cadre théorique et méthodologique de travail. Plutôt que de détailler chaque point, nous ne retiendrons que certains d'entre eux.

<sup>24</sup> Type de données (manuscrites, alphanumériques), niveau de détail ou son échelle de temps et d'espace.

### **2. 1 - Recensement, collecte et vérification des données**

Il serait vain de présenter dans le présent rapport toutes les études et les informations relatives à notre zone d'étude. De même, si toutes les données intéressantes pour le projet n'étaient pas toujours exploitables, nous ne nous attarderons pas à en citer toutes les raisons.

En résumé, les données (manuscrites ou informatiques) fausses, douteuses ou manquantes du fait :

- d'informations difficilement vérifiables ou quantifiables sur le terrain ;
- de renseignements sciemment biaisés ou résultant d'erreur de lecture, de saisie, de référentiel ou d'interprétation,

ont été corrigées (par vérification a posteriori ou par retour à l'origine de l'information) ou complétées (interpolations, enquêtes de terrain, etc.) dans la mesure du possible et lorsqu'elles étaient réellement importantes.

A la notion de validité, s'ajoute la précision des informations comparées à celles que nous nous sommes fixée ; ceci est vrai surtout pour les informations quantitatives (unités de mesures), spatialisées (résolutions d'image, coordonnées géographiques, etc.) et temporelles (exemple : périodes de fluctuations du niveau de la nappe).

Une autre difficulté identifiée *a priori* dans l'utilisation des données disponibles au CRDA réside dans l'absence de références spatiales des informations et dans le "chevauchement" de ces informations sur des zones d'étendue et d'échelle différentes. Les quelques données qui font référence à des notions spatiales sont très souvent approximatives au regard de la précision que nous nous sommes fixée pour la création des entités géographiques du SIG.

De plus, les nombreuses informations de terrain sont le plus souvent manuscrites, ce qui demande un gros effort de numérisation. "Du [quasi] tout papier, on passe au tout numérique !" Ce qui sous-entend que lors de la structuration multi-logiciels, la compatibilité (entre ordinateurs, système d'exploitations, type de logiciels et versions de logiciels) et la taille des fichiers créés devront être prises en considération.

Il importe également de faire la distinction entre données qualitatives (fixes le plus souvent) qui renseignent les propriétés d'un objet et les données quantitatives, généralement variables. Ces dernières revêtent une dimension spatio-temporelle qui complexifie la formalisation de données lors de l'élaboration du modèle physique de données (cf. chap. IV). De même, on dissociera les données brutes et des données calculées (combinaison de plusieurs données brutes) permettant de définir des indicateurs intéressants pour les utilisateurs. Pour effectuer des simulations sur des données variables dans le temps, il importe de se fixer un pas de temps adéquat au niveau des informations originales. En d'autres termes, pour chaque donnée intégrée dans la base, on devra définir une précision (résolution d'image, pas de temps de données sur une série chronologique, etc.) en fonction d'un résultat souhaité. Par cette réflexion, on évite ainsi de surcharger la base avec des informations redondantes ou inutiles.

Par exemple, certaines données de niveaux piézométriques sont calculées en instantané (à l'aide des piézographes). S'il peut être intéressant de connaître l'évolution du niveau de la nappe en un point géographique précis sur un pas de temps "horaire", par exemple, cette période de temps n'est pas approprié au système irrigué de la plaine de Kairouan ! Ces données horaires sur une période parfois de plus de dix années occuperaient une place trop importante dans la base et exigeraient pour être traitées une vitesse de traitement considérable pour les ordinateurs !

## **2. 2 - Choix des données nécessaires et complémentaires en fonction des objectifs**

Pour justifier l'adéquation des données avec les objectifs du projet, on peut dresser des scénarios d'attente ou citer certaines des interrogations des services publics.

- Quels sera dans les années à venir le niveau de la nappe général sur toute la plaine de Kairouan ? Et quelles seront les principales exploitations touchées par le rabaissement de la nappe et les conséquences qui en découleront (stratégies agricoles pour faire face à cette pénurie d'eau, etc.) ?
- Y a t il une corrélation entre le prix de l'eau publique et la multiplication des forages à bras ? Si oui, quel est le prix public optimum (destiné à l'irrigation) à fixer en fonction des coûts de l'eau au mètre cube en privé ?
- Existe t il un danger de pollution par le sel des systèmes irrigués sur la plaine de Kairouan ?
- Comment les cultures ont-elles évoluées au cours des dix dernières années ? Cette évolution est-elle liée à de nouvelles pratiques agricoles ?

Les chapitres III et IV tacheront de répondre à ces questions en présentant les données retenues et générées dans le SIG et le SGBDR.

### **3 - Les outils informatiques de développement**

Le SIG et le SGBDR qui lui est associé se doivent d'être accessibles et faciles d'utilisation ! Le meilleur moyen de tirer pleinement parti de l'information est sans doute de l'organiser du mieux possible ! Aussi, trois outils informatiques principaux seront retenus pour organiser, créer et visualiser les informations (Access, ArcView, ArcExplorer). Cependant, nous avons eu recours à d'autres logiciels (pour la préparer ou créer de nouvelles informations) que nous présenterons également dans cette partie.

#### **3. 1 - Microsoft Access 97**

Access 97 est un Système de Gestion de Base de Données Relationnelle (SGBDR) qui gère toutes les informations de la base (en les structurant et les organisant par des liaisons) dans un même fichier unique. Ce fichier qui porte l'extension mdb (pour Microsoft DataBase) est encore appelé un projet.

Ce logiciel présente l'intérêt d'être largement répandu et muni d'une interface conviviale et personnalisable. Il gère bien entendu des relations de type (1 à 1, 1 à plusieurs et plusieurs à plusieurs) entre entités ; ce qui au passage n'est pas permis avec ArcView. La principale "force" de cet outil est qu'il permet de créer de nombreux types de requêtes (requête simple ou multi-tables, mis à jour, ajout, suppression, analyse croisée, liaison, etc.) sur les données de la base initialement stockée dans des tables. De nombreux formats d'échange existent. Les fichiers les plus communément utilisés (xls, dbf, txt, doc, etc.) peuvent donc être intégrés à la base de données puis exportés dans les mêmes formats. Il en est de même pour les objet provenant d'une autre application (image, diagramme, son, feuille de calcul, etc.) grâce aux liaisons OLE<sup>25</sup>.

La base de données peut aussi être partagée par différents utilisateurs connectés sur une plate-forme PC (connexion à une base de données externe ODBC<sup>26</sup>).

Access fonctionne en Visual Basic : langage informatique (identique pour bon nombre d'applications Microsoft) que l'on peut utiliser pour personnaliser l'application, effectuer des macrocommandes ou des formulaires donnés.

On pourrait énumérer beaucoup de fonctions intéressantes disponibles sous Access. Nous ne retiendrons que les principales et celles dont nous nous servirons lors de notre travail ; en regrettant tout de même le fait qu'il ne soit pas possible de sauvegarder un projet Access dans une version antérieure à celle utilisée lors du développement de la base de données (comme c'est le cas de tous les autres logiciels de Microsoft Office) !

Afin de nous familiariser avec la terminologie d'Access, nous proposons en annexe 5 quelques notions fondamentales relatives à Access.

<sup>25</sup> en anglais : Object Linking and Embedding

<sup>26</sup> en anglais : Open Database Connectivity. L'accès des données s'effectue par une connexion SQL.

### **3. 2 - ArcView (Version 3.1)**

Développé par ESRI, le Système d'Information Géographique ArcView est un outil permettant de visualiser, d'explorer, d'interroger et d'analyser des données géographiques. Il permet de mettre en évidence des relations géographiques ou de trouver des solutions à des problématiques spatiales diverses (ESRI, 1996a). En définitive, ArcView peut faciliter la décision du gestionnaire en l'aidant à avoir à la fois une vision globale et de détail de la zone concernée par le projet. Différents scénarios concernant la ressource et/ou les usages pourront alors être envisagés.

ArcView possède son propre langage de programmation orienté objet nommé "Avenue" et son environnement de développement. Le langage Avenue permet d'automatiser des tâches individuelles, de personnaliser l'interface utilisateur d'ArcView ou de créer des applications ArcView complètes (ESRI, 1996c, 1997; RAZAVI et WARWICK, 1997).

Les nombreuses fonctions et avantages d'ArcView (que nous présenterons succinctement dans les parties ci-dessous) font de ce SIG, le logiciel le mieux adapté pour notre projet. Si d'autres logiciels de SIG tels MapInfo, Idrisi, Géoconcept par exemple s'avèrent intéressants quant à certaines particularités, ArcView semble le plus polyvalent, convivial et performant dans son ensemble. Il est possible de lui ajouter de nombreuses extensions (Spatial Analyst, 3D Analyst, Network Analyst) et il est compatible avec de nombreux formats informatiques sans compter les connexions serveur et autres SQL. Il fait également parti de la grande famille "ESRI" (ArcInfo et Erdas pour n'en citer que quelques-uns), le plus gros producteur et vendeur de SIG dans le monde actuellement. Ces aspects sont autant de points importants pour assurer une pérennité à l'application et des connexions futures avec d'autres travaux géomatiques.

Un complément d'informations sur ArcView figure à l'annexe 6.

### **3. 3 - Spatial Analyst (Version 1.1 ; Extension d'ArcView)**

La caractéristique principale de Spatial Analyst est que cette extension gère un format de thème spécifique : grille. Cette grille équivaut à une matrice de pixels. Spatial Analyst propose des fonctions d'analyse sur des grilles et des thèmes de forme. Lors du chargement de l'extension, deux rubriques (Analysis et Surface) s'ajoutent au menu principal d'ArcView.

Sous la rubrique Analysis, on trouve des fonctions de calculs de distance et de densité, d'assignation de proximité, de statistiques sur des cellules, de création d'histogramme par zone, d'interrogations de cartes, de calcul sur grille, de voisinage, de statistiques de reclassification, etc. Sous la rubrique Surface, de nombreuses fonctions (Interpolation de Grille, création de contour et d'ombrage, dérivation de pente et ombrage, etc.) peuvent être utilisées.

Des formats d'import/export raster sont aussi ajoutés en plus d'un gestionnaire de données.

Pour de plus amples informations, nous suggérons la lecture de l'aide en ligne d'ArcView et de son livre d'utilisation (ESRI, 1996b).

### **3. 4 - ENVI (Version 3.1)**

ENVI (the Environment for Visualizing Images) est un logiciel de traitement d'images. Il s'adresse particulièrement à ceux qui traitent des images satellites ou des photos aériennes. De nombreux outils d'analyse et de traitement d'images (standards et nouveaux) y sont inclus (data transformation de données, filtres standards et élaborés par Research System, classification, corrections géométriques, outils d'analyses spectrales, et outils radar, profil X, Y, Z, transects d'images, histogrammes linéaire ou non, tables de couleur, éditeur et calculateur de matrice, perspective 3d, ombrage, etc.).

Une des particularités d'ENVI tient au fait qu'il propose une approche unique de traitement d'images, c'est-à-dire qu'il combine le fichier de base aux bandes images (affichées dans une liste commune) correspondantes que l'on peut modifier grâce à des fonctions interactives. On peut ainsi procéder avec plusieurs bandes provenant de deux images différentes par une simple sélection à la souris. Ces bandes sont affichées en 8 ou 24 bits dans trois fenêtres (par défaut) appelées "Scroll" (comprenant la totalité de l'image), "Image" (comprenant une partie du Scroll) et Zoom (comprenant une partie de l'Image avec un facteur de zoom ajustable).

Tout type d'image et de fichiers ascii peut être transcodé dans le format image standard (ou par défaut) d'ENVI, à savoir le BSQ. On peut également importer et superposer des vecteurs (fichiers provenant d'ArcView, d'Arc/Info, de MapInfo, de Microstation DGN, d'ENVI, etc.) sur les images.

ENVI est écrit en Interactive Data Language (IDL), un langage structuré puissant de programmation. La flexibilité d'ENVI d'ailleurs est liée en grande partie à ce langage qui offre de multiples possibilités de développement (RESEARCH SYSTEM, 1997a, 1997b, 1997c, 1997f).

Nous avons principalement utilisé pour notre projet les fonctions de géoréférencement et de mosaïquage, de retouche d'images à l'aide des histogrammes, de lien entre images, de superposition de couches vectorielles (cf. chapitre III).

Pour informations complémentaires, se référer à l'aide en ligne d'ENVI ou les livres suivants (RESEARCH SYSTEM, 1997d, 1997e, 1997f), le 1997e correspondant à l'impression papier de l'aide en ligne.

### **3. 5 - IDRISI (Version 2.0 for Windows)**

Idrisi sous Windows est composée d'une interface (offrant des menus déroulants et des icônes), ainsi qu'un ensemble de plus de 100 programmes ou fonctions permettant l'acquisition, la représentation et l'analyse d'informations à référence spatiale. Ces informations sont structurées sous la forme de couches, chacune décrivant un contenu thématique particulier. Chacune de ces couches peut décrire les caractéristiques de thèmes tels que le réseau routier, l'altitude, les types de sol, etc... Toutes les fonctions d'analyse font appel à ces couches. Cependant, pour des fins de représentation graphique, plusieurs de ces couches peuvent être combinées pour produire une composition cartographique.

Idrisi possède deux modes d'affichage, selon la terminologie des "Clark Labs"<sup>27</sup> :

- le mode "image", avec des couches de structure raster (couches "image"),
- et le mode "objet" avec des couches de structure vecteur (couches "vecteur").

Les couches image décrivent une région d'étude (une portion du territoire) comme un ensemble organisé (une matrice) de cellules. Chacune de ces cellules contient une valeur numérique exprimant la caractéristique thématique à cet endroit précis du territoire. Les couches image sont particulièrement adaptées à la description de phénomènes spatialement continus, tels que l'altitude, la quantité de biomasse ou de précipitations, la teneur en métaux lourds et la température.

Les couches vecteur, par ailleurs, sont adaptées à la description d'objets identifiables du territoire, tels que les routes, les limites de propriété, les unités administratives, etc. Pour décrire ces objets spatiaux, les couches vecteur stockent l'information sous la forme d'une séquence de points, chacun localisé par une paire de coordonnées. Pour des objets ponctuels (points), cette description correspond à leur localisation; tandis que pour des objets linéaires (lignes) ou zonaux (zones), c'est leur limite qui est décrite par une séquence de points implicitement connectés par une série de segments (produisant ainsi des lignes brisées ouvertes ou fermées).

Bien qu'Idrisi soit capable de gérer et représenter graphiquement des couches image et vecteur, ses outils d'analyse sont principalement conçus pour traiter des couches image. De ce fait, il appartient avant tout à la catégorie des Systèmes d'Information Géographique (SIG) en mode image. Cependant, il propose un module de gestion de base de données (SGBD) permettant de traiter des données de type vecteur. Une série de fonctions autorisent des conversions de structures vecteur en raster.

---

<sup>27</sup> Clarke University Graduate School of Geography : concepteur d'Idrisi

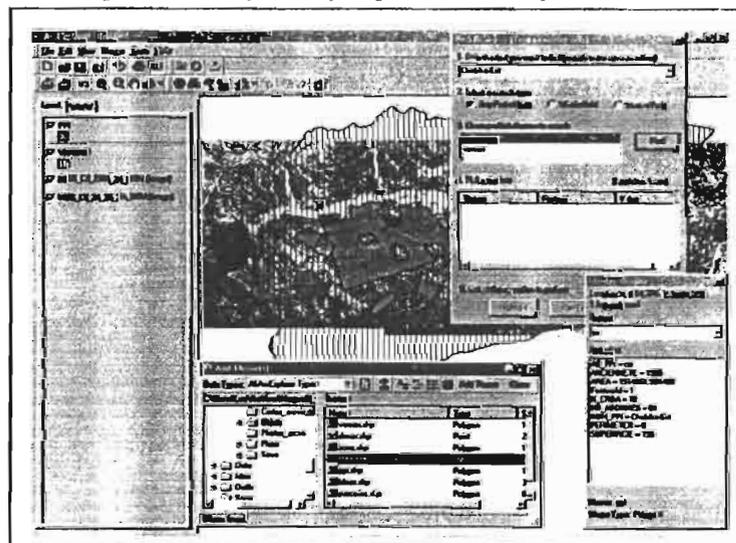
### 3. 6 - ArcExplorer

ArcExplorer est un explorateur d'informations géographiques gratuit distribué par ESRI (téléchargeable à partir du site Web d'ESRI). Il a été créé pour visualiser et interroger facilement des données géographiques.

Seules les informations ascii attachées aux fichiers shape d'ArcView, et les couches ARC/INFO, PC ARC/INFO et SDE<sup>28</sup> sont "interrogeables". En plus de ces formats, on peut afficher à l'aide de cet outil bon nombre d'images : Windows Bitmap - \*.bmp, \*.dib ; TIFF (Tag Image File Format) - \*.tif, \*.tff, \*.tiff ; ERDAS - \*.gis, \*.lan ; BIL (Band interleaved by line) multiband images - \*.bil ; BIP (Band interleaved by pixel) multiband images - \*.bip ; BSQ (Band sequential) multiband images - \*.bsq, etc.

Des petits outils permettent de mesurer des distances sur les cartes, de rechercher des noms ou d'autres caractéristiques, de connaître les propriétés d'un objet d'une couche (seulement pour celles spécifiées plus haut), de "zoomer", de visualiser et de télécharger des données disponibles sur le Web (sites utilisant la technologie ESRI IMS), etc. Bien sur, on peut créer ses propres couleurs et légendes à l'aide d'une palette de couleur et imprimer les cartes désirées. L'environnement de travail sera sauvé dans un projet ArcExplorer (\*.aep).

Figure 7 : Rapide aperçu sur ArcExplorer



Les deux principaux atouts d'ArcExplorer pour notre projet est qu'il est gratuit (donc facilement diffusible auprès des partenaires du projet) et qu'il n'est pas possible d'éditer des informations pour les modifier. L'intégrité des données est de ce fait préservée.

Pour des raisons pratiques et de clarté, nous présenterons dans deux parties distinctes, les opérations et les moyens entrepris pour développer le SIG et la base de données même si ces deux composants sont étroitement liés dans le SIRS. Dans la mesure où les informations

<sup>28</sup> Spatial Data Engine : système de gestion de bases de données créé par ESRI.

sont transférées d'un logiciel à un autre, il importe de prendre en compte ces transferts des données.

#### **4 - Les principaux liens et formats d'échange entre les outils de développement**

Même si nous avons évalué la compatibilité et les formats d'échanges possibles entre les outils de développement avant de les choisir, nous nous en tiendrons dans cette partie qu'aux liens entre Access et ArcView. Ces échanges de données entre Access et ArcView sont en effet cruciaux dans le fonctionnement du SIRS. Pour les autres logiciels de développement, nous illustrerons et commenterons les "passerelles" possibles dans le chapitre III et IV.

##### **4. 1 - Access et ArcView**

ArcView permet d'importer des tables ou des requêtes d'une base de données Access à l'aide d'une connexion SQL<sup>29</sup> (l'annexe 4 propose une présentation de ce langage). On sélectionne alors les tables ou les requêtes désirées, en appliquant éventuellement un filtre SQL. La table résultante s'affiche alors dans l'onglet du projet ArcView réservé à cet effet (Tables) en format dbf. En aucun cas, cette table contient le champ shape du fichier ArcView du même nom (correspondant au thème), c'est pourquoi, il est nécessaire de faire lier la table nouvellement importée à la table attributaire du thème comportant les entités shape.

Trois types de liens entre données externes et entités "shape" sont possibles dans ArcView :

- La jointure d'une table externe à la table attributaire d'un thème
- La liaison d'une table externe à la table attributaire d'un thème
- Les liens dynamiques ou multimédia

Pour plus d'informations, se référer à l'annexe 7.

Dans tous les cas, il importe de dissocier les informations qui seront visualisables dans une "Vue" ArcView, de celles affichées dans une table ArcView ou Access. Les premières sont référencées dans un système de projection et dans un jeu de coordonnées géographiques données, alors que les secondes peuvent ou non faire référence à un objet de la base géoréférencée. Ceci sous-entend qu'il est nécessaire de définir au préalable les "objets" qui seront représentés dans le SIG, leur symbolique ou leur mode de représentation (point, ligne, polyligne, polygone ; matrice "raster" ; etc.) et les données qui seront nécessaires à leur élaboration (cf. Chapitre III).

---

<sup>29</sup> Select Query Langage : Langage de requête normalisé

Les manipulations précédemment annoncées ne sont pas forcément aisées pour un utilisateur non averti d'ArcView. Il nous faudra pour lui faciliter la tâche automatiser des procédures à l'aide du langage Avenue propre à ArcView. L'intérêt étant qu'il puisse ensuite faire preuve d'autonomie pour gérer et incrémenter la base de données du SGBDR et du SIG, et interroger facilement ces données pour éventuellement visualiser le résultat de la requête sur des "cartes" avec ArcView. L'interface qui sera développée devra être par conséquent sur mesure (en adéquation avec les attentes du CRDA), personnalisable et conviviale (ensemble de boutons explicites dans un formulaire Access et/ou dans une vue ArcView exécutant des actions et des commandes définies).

Toutefois, la bonne prise en main de ces nouveaux outils (ArcExplorer, ArcView, Access) par le gestionnaire impliquera une formation des partenaires du PNM !

## **CHAPITRE III - LA CONCEPTION DU SIRS MERGUSIE : DEVELOPPEMENT DU SIG**

### **I - INTRODUCTION**

Le SIG, partie constitutive du SIRS, a pour principal intérêt de replacer dans leur contexte géographique des entités pertinentes et utiles et ainsi de visualiser des phénomènes spatio-temporels permettant d'aider la décision du gestionnaire de l'eau et des usagers de la ressource en eau sur l'Ensemble Ressource Usages sous influence du barrage El Haouareb et de l'oued Merguellil.

On peut dissocier dans le SIG plusieurs types de couches numérisées. Les premières, appelées couches de fonds, servent à se repérer et à resituer l'information dans un contexte géographique précis et selon la toponymie locale. Les couches thématiques, toutes basées sur ces couches de fonds et des informations complémentaires, sont de deux ordres. Certaines traduisent plus simplement la réalité et comprennent les mêmes types d'objets<sup>30</sup> représentés par des points des polygones ou encore des polygones le plus souvent. Les autres couches thématiques peuvent résulter des calculs sur ces thèmes simples.

Nous nous proposons dans ce chapitre de présenter l'intérêt et l'élaboration de ces différentes couches constitutives du SIG.

### **II - CREATION DES "COUCHES DE FONDS" : CARTES TOPOGRAPHIQUES ET PHOTOGRAPHIES AERIENNES**

#### **A - INTRODUCTION**

Avant de s'engager dans la création des couches thématiques, il convient de générer un ou plusieurs supports cartographiques en format numérique rasterisé afin de situer tout objet ou identifiant de la base dans un système commun de coordonnées géographiques qui puisse coïncider avec les couches de fonds.

Il importe alors de fixer un seuil d'imprécision adapté à l'analyse de la zone d'étude. Sachant que notre travail s'effectue à l'échelle de la parcelle dont la superficie moyenne avoisine l'hectare, l'imprécision maximale des couches de fonds souhaitable est de l'ordre de plus ou moins 10 mètres. En d'autres termes, la limite d'une parcelle (en ne supposant aucune erreur lors de la numérisation) peut se situer à plus ou moins 10 mètres autour d'une médiane fictive correspondant à la délimitation réelle, c'est-à-dire que l'erreur maximale sur une surface d'un hectare sera d'environ 10 %.

<sup>30</sup> Un ensemble d'objets analogues constitue un thème ou une entité géographique (exemple : le PPI El Haouareb représenté par un polygone est un objet du thème Périmètre Irrigué).

### **1 - Choix des supports cartographiques et photographiques**

Les cartes topographiques et les photographies aériennes panchromatiques ont été retenues pour la création des couches de fonds du SIG, dans la mesure où elles apportent des informations complémentaires.

Les cartes topographiques sont géoréférencées selon un datum<sup>31</sup> (déterminé par un système de référence géodésique et un ellipsoïde<sup>32</sup>) et dans un système de projection<sup>33</sup> donné (pour passer de coordonnées sphériques à des coordonnées planes). Elles fournissent des indications toponymiques pertinentes pour le projet. Elles formalisent l'occupation du sol (périmètre urbain, réseau hydrographique et routier, type de végétation dominante, points géodésiques, points d'eau, etc. ; autant d'informations utiles pour le repérage sur le terrain) jusqu'à un certain degré de précision (représentation de la réalité). Les courbes de niveau topographique, dont l'équidistance minimale est de 5 m, sont également précieuses pour évaluer les variations altitudinales du terrain.

Les photographies aériennes correspondent à une projection d'un espace réel à 3 dimensions (pris à un instant donné) sur un plan. Elles apportent des informations qualitatives intéressantes pour déterminer les limites de parcelles, les types de culture et éventuellement le stade de végétation, les lits d'oueds, etc. (l'occupation du sol en général). Elles présentent cependant des déformations géométriques non négligeables, ce qui les différencie des orthophotos plans. Parmi les plus courantes, on note tout d'abord celles dues au jeu de lentilles et aux oculaires de l'appareil photographique, et celles dues à la projection d'un espace tridimensionnel à un espace bidimensionnel. On peut supposer ce dernier biais négligeable devant le premier car notre zone d'étude présente une topographie peu accidentée (plaine de Kairouan) et un faible dénivelé. La déformation due à l'objectif se répercutant essentiellement sur la périphérie de la photographie, nous avons exclu de la numérisation les bords du support papier photographique. En d'autres termes, chaque photo a été scannée à partir de son centre dans les limites de la largeur maximale de scanner. Les autres biais (dus au tirage négatif vers papier, au scannage, etc.) sont difficilement quantifiables et considérés comme négligeables devant les imprécisions précédemment citées.

---

<sup>31</sup> Carthage pour la Tunisie

<sup>32</sup> Ellipsoïde de Clarke 1880 A

<sup>33</sup> Projection conique (Lambert Nord Tunisie) ou cylindrique (Universal Transverse Mercator, fuseau n°32)

### B - SCANNERISATION DES PHOTOGRAPHIES AERIENNES ET CARTES TOPOGRAPHIQUES

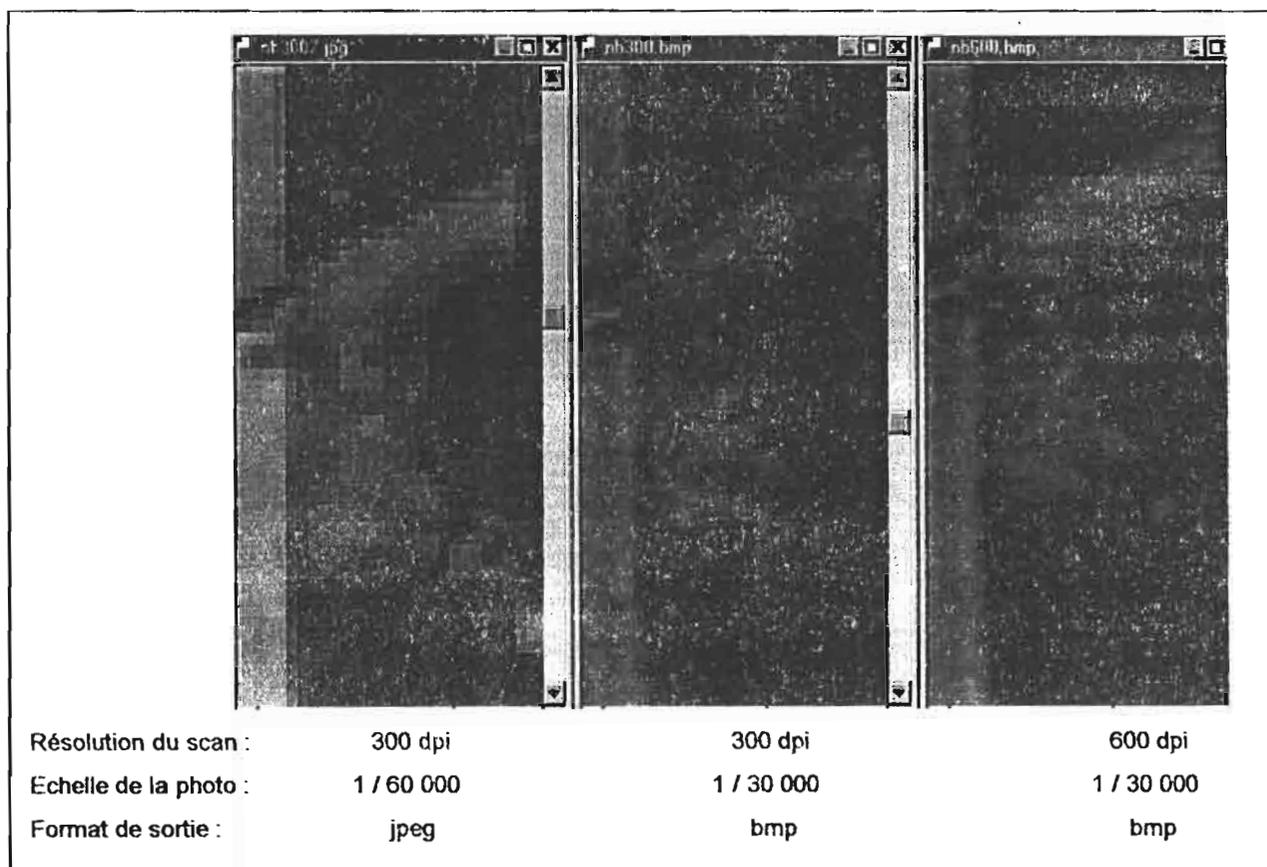
La scannérisation des cartes topographiques et des photographies aériennes constitue la première phase de l'élaboration des couches de fonds du SIG. Cette opération consiste à passer d'un format papier à un format "alpha-numérique" visualisable et exploitable à partir de l'ordinateur.

Plusieurs tests "scans" ont été effectués au préalable afin d'obtenir un résultat satisfaisant. Les variables suivantes ont été prises en compte :

- l'échelle des supports initiaux (cartes et photographiques aériennes);
- la résolution au scannage ;
- le type de scan (en noir et blanc, noir et blanc affiné, millions de couleurs, etc.)
- et les formats de sortie image (différentes extensions possibles : jpg, bmp, tif, etc.).

Les différents fichiers images ont été comparés par des zooms successifs sur un même objet (échelle approximative : 1 : 500<sup>e</sup>).

Figure 8 : Comparaison des images de sortie selon différents paramètres de scan



Par des zooms successifs sur une même zone, il est aisé de s'apercevoir de la qualité des images résultantes par comparaison et de retenir un type de scan adapté pour chacun des supports (cartographiques et photographiques).

En définitive, les options suivantes ont été retenues :

- Pour les photographies aériennes :
  - ⇒ Agrandissement double (effectué à partir des négatifs) par rapport aux "planches contact", soit une échelle approximative de 1 : 30 000
  - ⇒ Scannérisation en N&B affiné à une résolution de 600 dpi (la largeur de scan maximale étant de 35,5 cm x 21,6 cm, on obtient une image brute d'environ 8400 x 5100 pixels, soit 42 840 Ko; par conséquent, en considérant l'échelle des photos, un pixel à l'écran correspond dans la réalité à un carré d'environ 1,26 m).
- Pour les cartes topographiques :
  - ⇒ Echelle au 1 : 50 000
  - ⇒ Scannérisation en millions de couleurs affinées à 300 dpi, une fine résolution des cartes n'étant pas nécessaire pour le projet.  
Selon les dimensions de la largeur de la bande passante, l'image brute est d'environ 4 190 x 2 550 pixels, soit 10 685 Ko. De la même manière, le côté du pixel sera dans la réalité de 4,2 m environ.

Dans tous les cas, il convient de trouver un compromis entre la précision des fichiers et leur "taille" (en Mo) afin de faciliter la manipulation desdits fichiers.

Pour couvrir la zone d'étude, quatre feuilles topographiques<sup>34</sup> au 1 : 50 000 (réparties en 6 fichiers scannés, la bande passante du scan étant de 22 cm sur 36 cm) et onze photos aériennes<sup>35</sup> (non corrigées géométriquement) au 1 : 30 000 d'une taille initiale de 50 sur 50 cm sont nécessaires. Leur assemblage figurent à l'annexe 8.

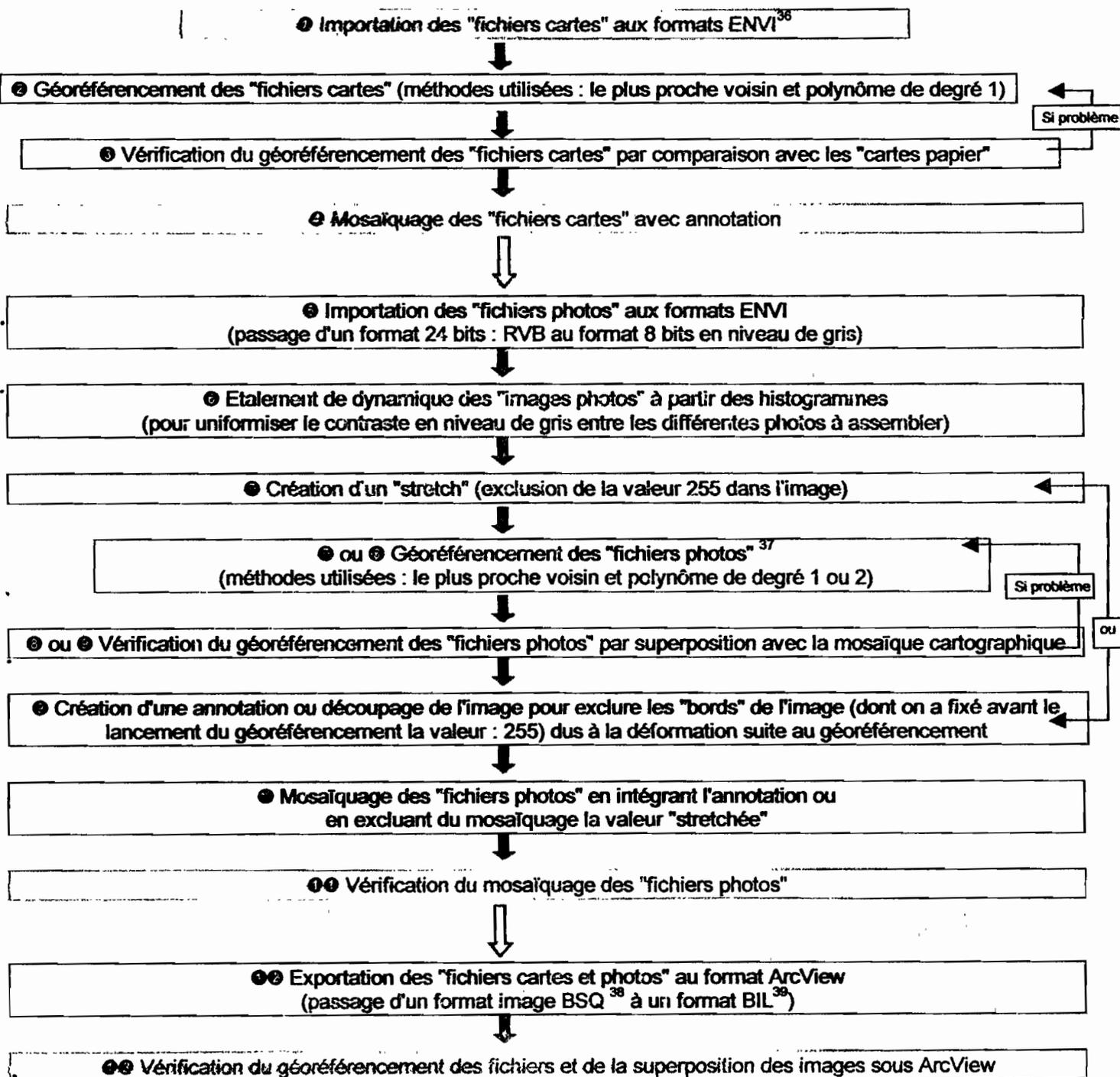
### **C - RECTIFICATION GEOMETRIQUE ET GEOREFERENCEMENT**

Une fois numérisées, les photos et les cartes (sous forme de fichier) ont été exportées vers le logiciel ENVI pour la retouche, la rectification géométrique et le géoréférencement des images. Le mode opératoire général se résume à la page suivante :

<sup>34</sup> Pour les trois premières : 1<sup>ère</sup> édition en 1993 par l'Office de la Topographie et de la Cartographie tunisien et pour la dernière la plus à l'est datant de 1898 ! (réédition par l'Office de la Topographie et de la Cartographie tunisien)

<sup>35</sup> Editées par l'Office de la Topographie et de la Cartographie tunisien

Tableau 3 : Etapes de réalisation des couches de fond cartographiques et photographiques



Nous détaillerons dans les parties suivantes certaines étapes du mode opératoire ci-dessus.

<sup>36</sup> Un fichier image : \*.img, un fichier attribut : \*.hdr ou header

<sup>37</sup> Saisie des points d'amers en faisant correspondre des pixels géoréférencés de l'image mosaïquée des "fichiers cartes" aux pixels des fichiers photos (précision préalable du système de projection et de l'ellipsoïde)

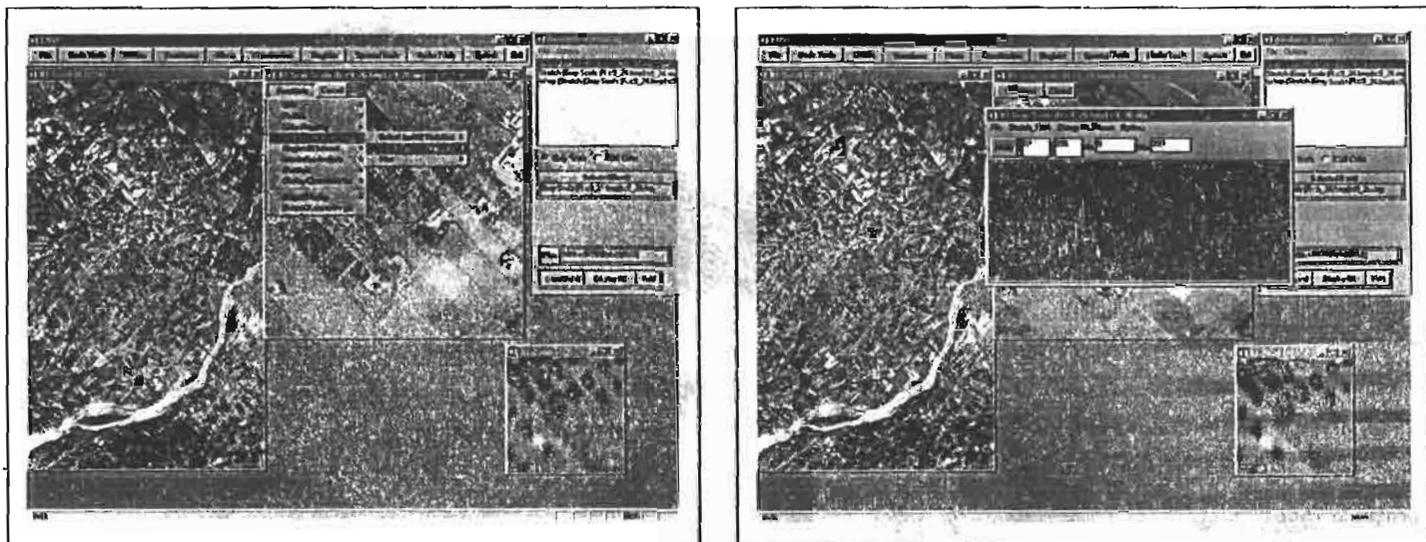
<sup>38</sup> BSQ : Band Sequential Format – Toutes les lignes d'une bande spectrale sont affichées avant que soient ensuite les lignes d'une autre bande spectrale [(ligne 1 → ligne n) bande 1 / (ligne 1 → ligne n) bande 2 / (ligne 1 → ligne n) bande i]

<sup>39</sup> BIL : Band Interleaved by Line Format : Dans ce type d'image, la première ligne de la première bande spectrale s'affiche puis la première ligne de la bande 2, etc... comme suit [(ligne 1) bande 1 / (ligne 1) bande 2 / (ligne 1) bande i / ... / (ligne ni) bande i]

### 1 - Etalement de dynamique des images

Avant de lancer le géoréférencement, on veille pour des aspects pratiques de photo-interprétation et des aspects esthétiques que le contraste de chacune des images à mosaïquer soit similaire. Pour cela, la dynamique des images à partir des histogrammes de leur "réponse spectrale" doit être ajustée.

Figure 9 : Etalement de dynamique des photos sur histogramme (fonction Interactive Stretching)

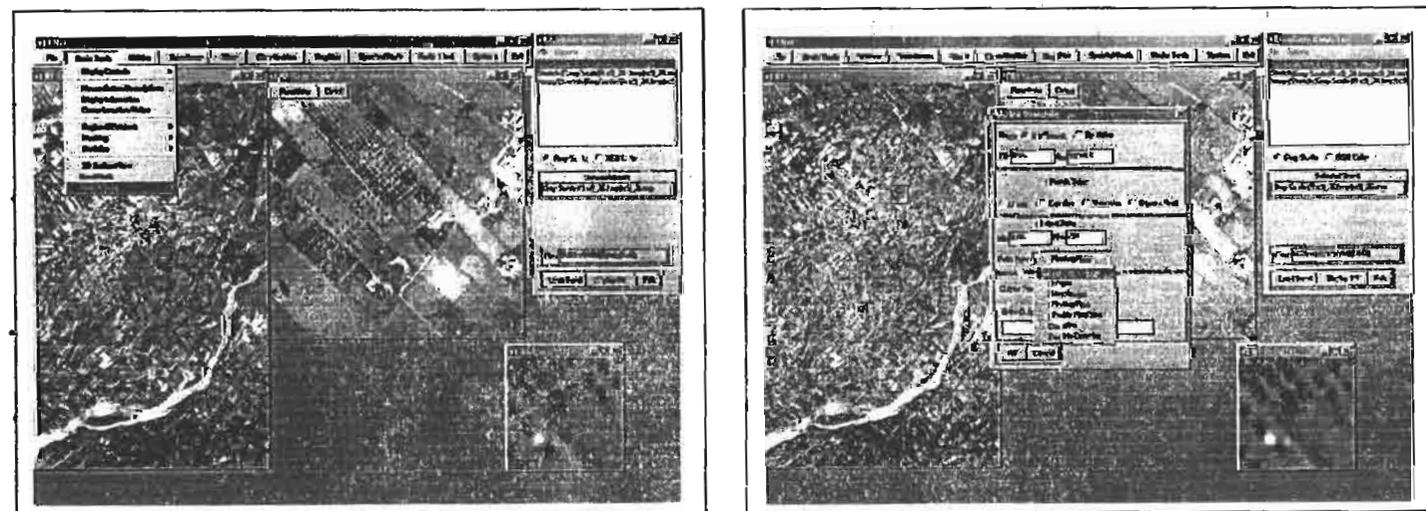


Notons que nous avons dû procéder de la sorte pour les images représentant les cartes topographiques.

### 2 - Création d'un "stretch" sur les photos (diminution de la dynamique)

Le stretch consiste à exclure de la matrice une ou plusieurs valeurs de pixels. Nous avons effectué cette opération pour faciliter ensuite le mosaïquage des images géoréférencées (cf. tableau 3)

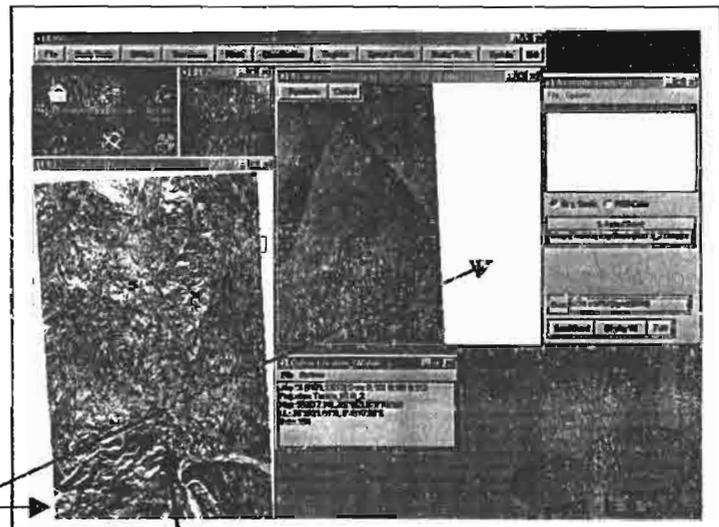
Figure 10 : Exclusion d'une valeur de pixel de la matrice (fonction Data Stretching)



Avant le géoréférencement, on exclue de l'image la valeur 255 pour préparer le mosaïquage.

Figure 11 : Intérêt du stretch avant le géoréférencement

Lorsque l'on procédera au géoréférencement de cette image dont les valeurs de pixels sont comprises entre 0 et 254, on affectera alors la valeur 255 pour tous les pixels compris dans la bande de déformation due à l'opération de géoréférencement.



Bande de déformation due au géoréférencement (la valeur des pixels a été fixée à 255)

Image géoréférencée (la valeur des pixels hors bande de déformation est comprise entre 0 et 254)

Ce qui évitera des manipulations fastidieuses lors du mosaïquage où l'on précisera à ENVI de ne pas tenir compte de la "valeur de fond" 255 (cf. figure 23 : "Background Value To Ignore").

### 3 - Géoréférencement et corrections géométriques

Le géoréférencement consiste à attribuer à tous les pixels d'une image un jeu de coordonnées (en X, Y le plus souvent) connus dans un système de projection et un ellipsoïde donnés.

Nous proposons à l'annexe 9 des rappels théoriques sur le géoréférencement.

Après ce rappel théorique, voyons à présent comment nous avons procédé pour les cartes et les photos aériennes !

#### 3.1 - Opérations sur les cartes

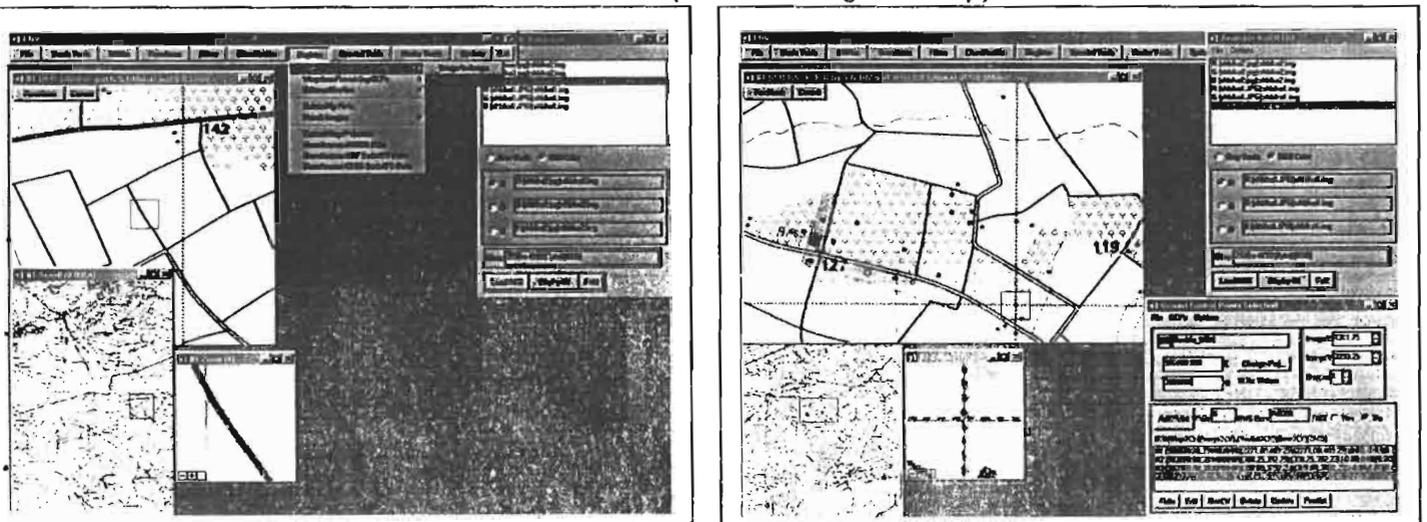
Pour le géoréférencement des cartes, la saisie des points d'amers est réalisée de façon "manuelle" (fonction ENVI : "Image To Map") à partir des croisillons de carte dont les coordonnées sont définies avec précision. Les coordonnées des points sont saisies dans un système de projection identique aux cartes :

- en coordonnées UTM<sup>40</sup> (fuseau 32) pour les cartes de 1993,
- en coordonnées Lambert Nord Tunisie pour la carte de 1898,

en ayant préalablement précisé le datum<sup>41</sup> et le système de projection<sup>42</sup> correspondant.

5 ou 6 points d'amers bien répartis dans l'image ont été entrés par fichier scanné, la "RMS" étant satisfaisante (cf. Annexe 10). La correction polynomiale de degré 1 (*Polynomial* selon la terminologie d'ENVI) et le mode de ré-échantillonnage du plus proche voisin ont été retenus. Lors du géoréférencement, on a fixé la taille du pixel de sortie en X et en Y à 5 mètres, et l'on a supposé que les déformations et les erreurs ponctuelles de la carte étaient négligeables devant la précision fixée pour notre travail.

Figure 12 : Saisie de points d'amers lors du géoréférencement des cartes topographiques (fonction Image To Map)



<sup>40</sup> Universal Transverse Mercator

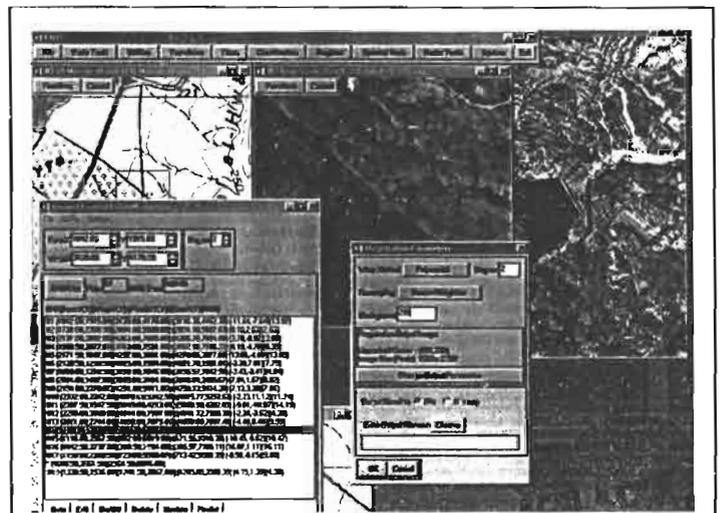
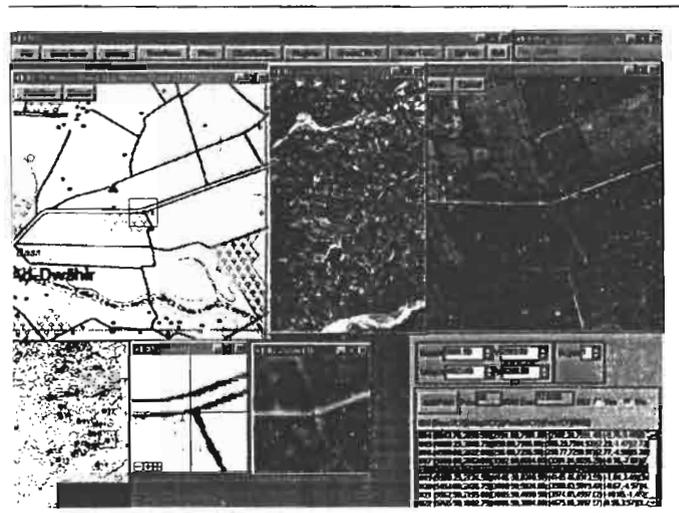
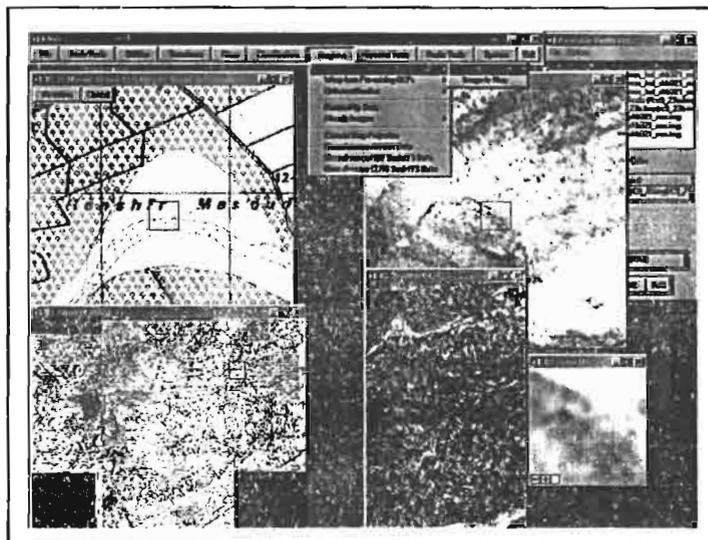
<sup>41</sup> Carthage

<sup>42</sup> Projection cylindrique : Universal Transverse Mercator, fuseau n°32 pour les cartes 1993 et Lambert Nord Tunisie pour celle de 1898.

### 3. 2 - Opérations sur les photos

Dans le cas du géoréférencement des photos, les points d'amers sont saisis en faisant correspondre les pixels des fichiers photos aux pixels géoréférencés de "l'image carte mosaïquée" (fonction ENVI "Image To Image"). Le système de projection et l'ellipsoïde retenus sont UTM 32 et ellipsoïde de Clarke 1880A, derniers paramètres géographiques en vigueur sur la Tunisie.

Figure 13 : Géoréférencement des photos à partir de la carte topographiques géoréférencée (fonction Image To Image)



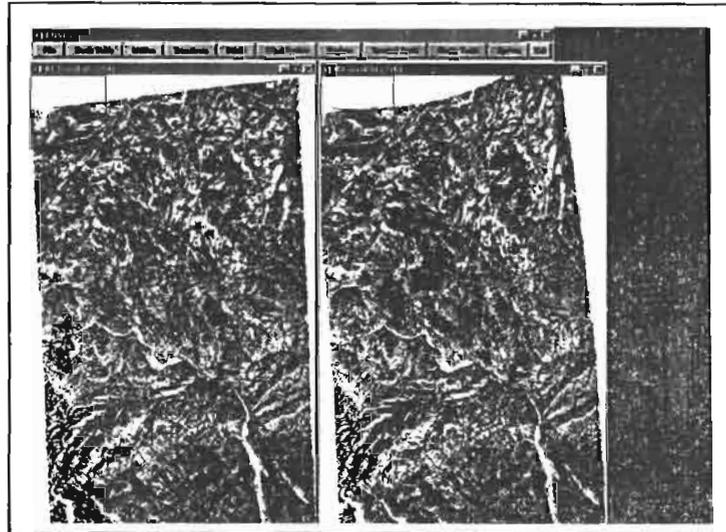
Le fichier résultant de la mosaïque des cartes correspond au fichier source et les fichiers photos aux fichiers cibles. Lors du géoréférencement sous ENVI, la résolution des fichiers de sortie est par défaut basée sur le "header" (fichier descriptif) de l'image source. Or, cette

dernière a une résolution de 5 m au sol alors que nous avons fixé pour les besoins du projet la résolution des photos à 1,25 m environ. Pour éviter de dégrader la précision des photos géoréférencées par un facteur 4, il est alors indispensable de préciser la taille du pixel de sortie en X et en Y (1,25 m).

Pour résumer, entre 19 et 31 amers ont été définis selon les photos. Deux méthodes de correction (*Polynomial selon ENVI ; polynôme non standard de degré 1 et de degré 2*) ont été testées.

Figure 14 : Comparaison des modèles de déformation sur une même photo

On s'aperçoit de la déformation provoquée par la méthode de correction en degré 2 (à droite). Dans ce cas, il est primordial de saisir un grand nombre de points bien répartis sur toute l'image, ce qui n'a pas été le cas dans la partie supérieure de l'image.



Si la RMS est moindre dans le cas d'un polynôme de degré 2, il s'avère qu'à l'assemblage des photos, le géoréférencement au degré 1 est souvent préférable (cf. partie relative au mosaïquage). Suivant cette dernière méthode, les erreurs sont plus ou moins systématiques mais beaucoup moins variables que dans le cas d'un degré 2 où l'écart type entre le point calculé et le point réel fluctue plus dans une région donnée de l'image. Dans la majeure partie des cas, il est préférable d'avoir une RMS plus forte en degré 1 qu'une RMS faible en degré 2.

Notons que pour un même degré 1, les RMS obtenues sont bien entendu plus importantes dans le cas des photos que dans celui des cartes puisque l'on ne dispose pas de repères aussi précis sur les photos et que les cartes sont censées présenter une moindre déformation. Les RMS calculées lors de la saisie des points d'amer pour les photos figurent à l'annexe 10.

Remarque : Pour géoréférencer les photos de 1990 qui n'étaient pas recouvertes par des cartes récentes, nous trouvions aléatoire de nous baser sur des cartes datant de la fin du 19<sup>e</sup> siècle étant donné les nombreux changements survenus depuis, dans la région. Aussi, nous avons dû compléter la saisie de points de référence sur les photos par des coordonnées définies au GPS<sup>43</sup> sur le terrain.

<sup>43</sup> Global Position System

### 3. 2. 1 - Repérage du bassin versant aval du Merguellil et prise de points GPS sur le terrain

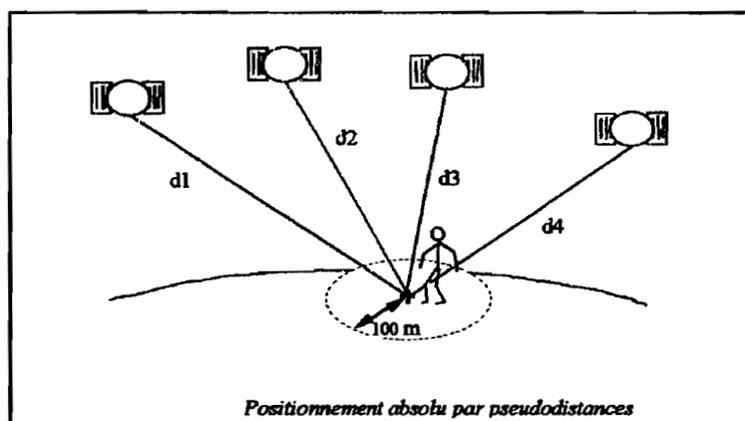
Le repérage GPS sur le terrain se justifie par le fait que la totalité de la zone d'étude n'est pas entièrement couverte par les cartes topographiques récentes.

#### Méthode

Généralement, la position indiquée par le GPS ne coïncide pas exactement avec les coordonnées absolues d'un point à la surface de la terre (déterminées par un datum<sup>44</sup> et un mode de projection<sup>45</sup> pour passer de coordonnées sphériques à des coordonnées planes) (SIMONNEAUX, 1998a). Ces différences entre les coordonnées lues et les valeurs théoriques résultent de deux types d'erreur :

- une erreur systématique due au GPS ;
- et une erreur due à la mesure variant selon le brouillage satellitaire ; les conditions atmosphériques ou la présence d'obstacles plus ou moins proches du capteur (ARNAUD et FLORI, 1996).

Figure 15 : Fonctionnement et principe du positionnement GPS standard



Sources : SIMONNEAUX, 1998a

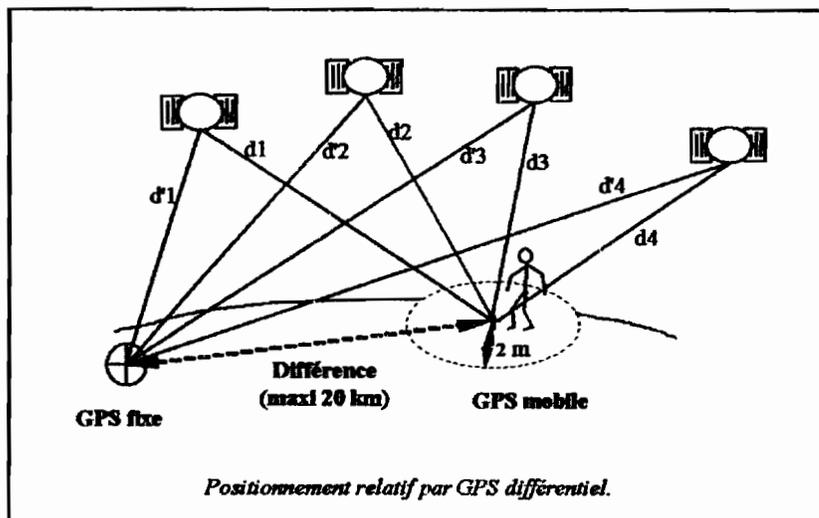
D'après sa fiche technique, la précision absolue du GPS utilisé (Garmin GPS II +) est de l'ordre de 50 mètres au sol en coordonnées latitude/longitude et d'environ 15 mètres si l'on effectue une moyenne du point (fonction Average intégrée dans le GPS). Ce biais n'étant pas acceptable pour notre travail, nous avons procédé avec deux GPS, un fixe et un mobile, afin d'améliorer la précision de mesure au sol (AUGUST & al., 1994).

<sup>44</sup> Carthage pour la Tunisie défini par un système de référence géodésique et un ellipsoïde

<sup>45</sup> Projection conique (Lambert Nord Tunisie) ou cylindrique (Universal Transverse Mercator, fuseau n°32)

La finalité de cette manipulation est de minimiser le brouillage satellitaire (qui varie de façon aléatoire dans le temps) pour descendre en deçà de la marge d'erreur géographique que nous nous sommes fixée (cf. supra). Cette méthode s'inspire du fonctionnement des GPS différentiels (coûteux et non disponible à la mission IRD Tunis).

Figure 16 : Fonctionnement et principe du positionnement GPS différentiel



Sources : SIMONNEAUX, 1998a

Le GPS fixe, situé sur une borne géodésique dans un milieu ouvert et dégagé de tout obstacle, permet d'estimer la variation du signal satellitaire (cf. figure 16) par rapport à un jeu fixe de coordonnées.

Le GPS mobile mesure la position géographique des points remarquables avec le même brouillage que le fixe, si et seulement si, les satellites "accrochés" par les deux appareils sont les mêmes. Dans ce cas, les horloges des deux GPS sont synchronisées automatiquement puisque l'heure GMT est donnée par les satellites captés.

La fréquence de mesure au point fixe est de 5 minutes 0 seconde. Cette fréquence est alors calée sur une heure "ronde" (hh:m0:00 ou hh:m5:00 ou hh:10:00, etc.). Au l'aide du GPS mobile, pour un point donné (correspondant à un repère qui servira au géoréférencement), deux enregistrements consécutifs sont effectuées à 5 minutes d'intervalle, sur des "minutes multiples de 5". Les coordonnées géographiques sont prises simultanément à la seconde près.

Pour s'assurer que les satellites captés par chacun des GPS soient identiques, le GPS mobile n'est pas déplacé au delà d'un rayon de 20 km par rapport au point fixe.

En comparant les coordonnées enregistrées par les deux GPS (mémoire d'une capacité de 500 jeux de coordonnées par GPS), deux cas de figure se présentent :

- ① on accepte la mesure mobile (deux jeux de coordonnées pour un même point), si la variation observée sur les deux appareils est similaire, à plus au moins 0,3 secondes sur la latitude ou sur la longitude, soit plus ou moins 9 mètres<sup>46</sup>, ou si les relevés varient de la même manière que les coordonnées au point fixe avec une marge d'erreur de l'ordre de 0,8 secondes sur les différences sommées des latitudes et des longitudes.
- ② on rejette la mesure effectuée si les conditions précédentes ne sont pas respectées.

Dans le cas, où la mesure est acceptée, on corrige les couples de mesures du GPS mobile en leur soustrayant la variance (par rapport à la moyenne mobile calculée sur les mesures au GPS fixe) du point fixe au moment où les mesures mobiles ont été prises, avant de les moyenner :

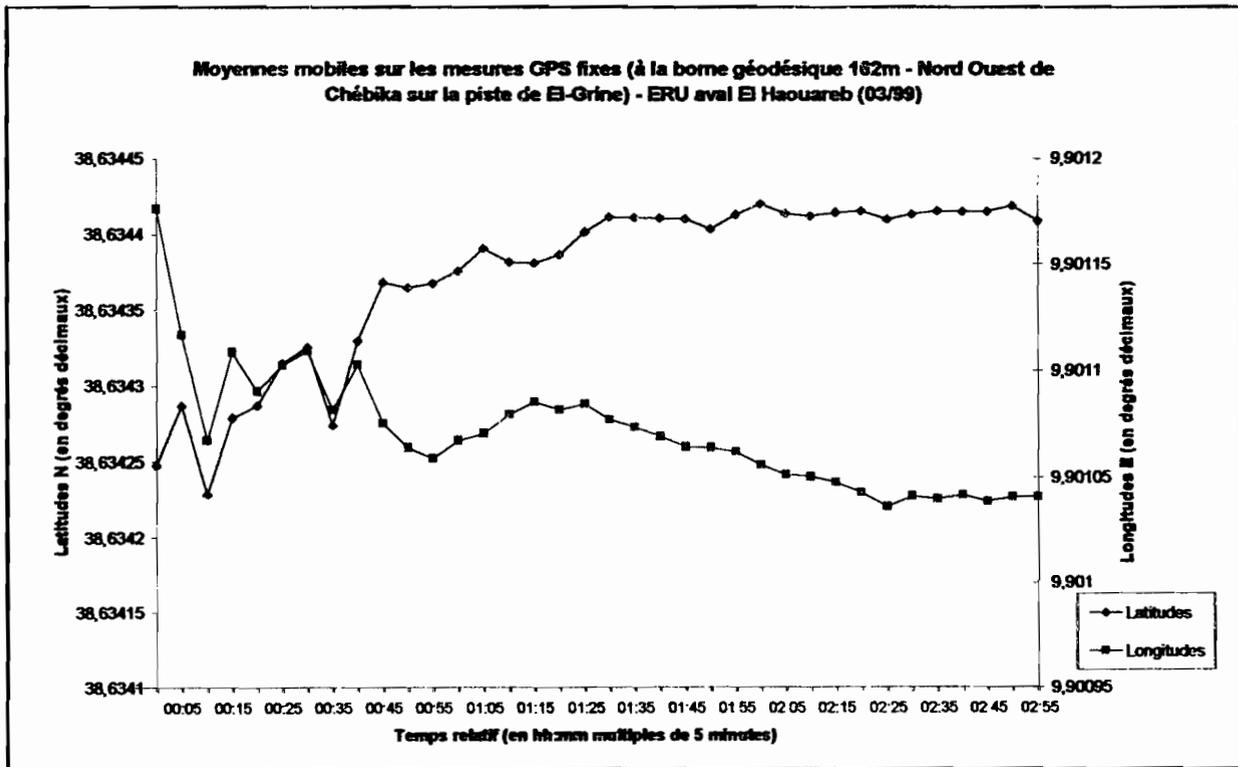
Lors du dépouillement des données, nous avons constaté la forte sensibilité des appareils de mesure à l'environnement physique alentours. En effet, le brouillage ne coïncidait pas lorsque les mesures avaient été effectuées dans une zone abritée, même légèrement (raquettes de figuiers de Barbarie à proximité, pylônes électriques, habitations, etc.).

Etant donné que l'on dispose d'une grande série de coordonnées géographiques pour un même points (environ 40 points pour la deuxième journée de repérage), il est possible de prédire à partir de combien de temps par cette méthode de "moyenne mobile" de point (destinée à atténuer le bruit du signal) on obtient une mesure satisfaisante (en fonction d'un objectif de précision). Cependant, il ne nous a pas été possible d'acheter à l'Office de Topographie et de Cartographie tunisien les coordonnées précises de la borne géodésique sur lequel les mesures au GPS fixe ont été effectuées puis "moyennées" ! On notera néanmoins que ces vérifications n'auraient de toute façon pas été généralisables, ni sur la plaine de Kairouan (les satellites captés ne sont plus les mêmes au-delà d'un rayon de 20-30 km) ni à un autre jour de mesure (brouillage totalement aléatoire dans le temps).

---

<sup>46</sup> 1 seconde géographique  $\cong$  31 mètres sur le terrain, (mesuré à partir des cartes au 1 : 50 000, 60 secondes = 37 mm donc 1 s = 0,617 mm soit 30,83 mètres en réalité).

Figure 17 : Calcul des coordonnées géographiques par moyennes mobiles sur le GPS fixe



Au bout d'une heure environ, on constate un léger lissage de la courbe qui tend vers un droite  $Y = a X + b$  où  $a$  tend vers 1 et  $b$  devrait normalement correspondre à la valeur théorique de la coordonnée. Il serait mieux pour parvenir à définir  $b$  d'exclure les mesures trop divergentes de la "normale" du calcul des moyennes mobiles.

#### 4 - Vérification du géoréférencement des photos

##### 4. 1 - Vérification par "superposition" d'images

Cette vérification consiste à comparer l'image à vérifier à une autre image dont le géoréférencement est satisfaisant. Pour ce faire, ENVI propose deux "modules" très pratiques :

Figure 18 : Liaison de deux images (fonction Link Display)

- "Link display" permet de "lier" deux images quelque soit leur taille et leur résolution, pourvu qu'elles possèdent des zones de recouvrements géographiques (bien entendu !) et que leur référentiel géographique soit le même.

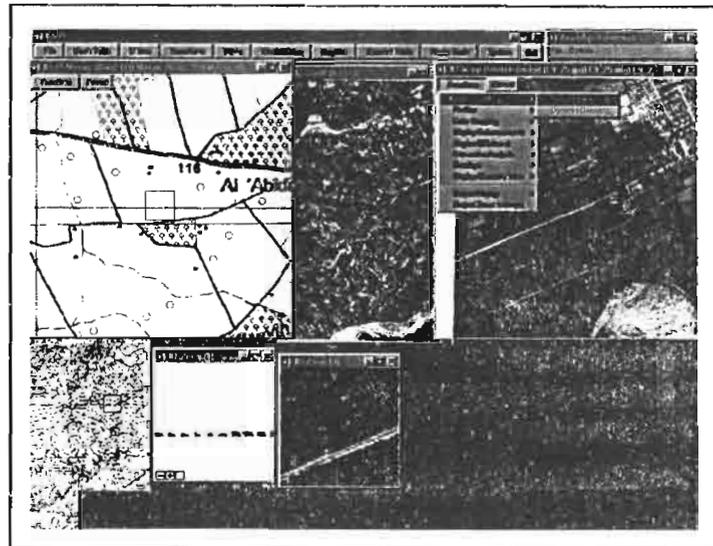
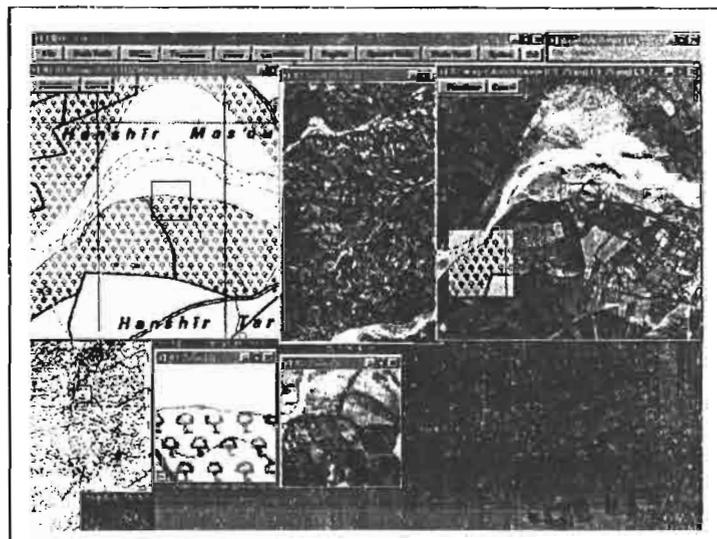


Figure 19 : Superposition des affichages sur images liées (fonction Dynamic Overlay)

- "Dynamic overlay" sert à superposer sur une des images liées une zone définie de l'image qui lui est associée.



Ces deux fonctions associées permettent de prédire la qualité du calage lors de la superposition des couches sur ArcView. Ce critère de qualité est primordial puisque des thèmes, rassemblés dans une même vue, seront digitalisés à partir de la couche topographique (courbes topographiques par exemple), alors que d'autres seront numérisés sur la base photographique.

#### 4. 2 - Vérification a posteriori lors du mosaïquage des images

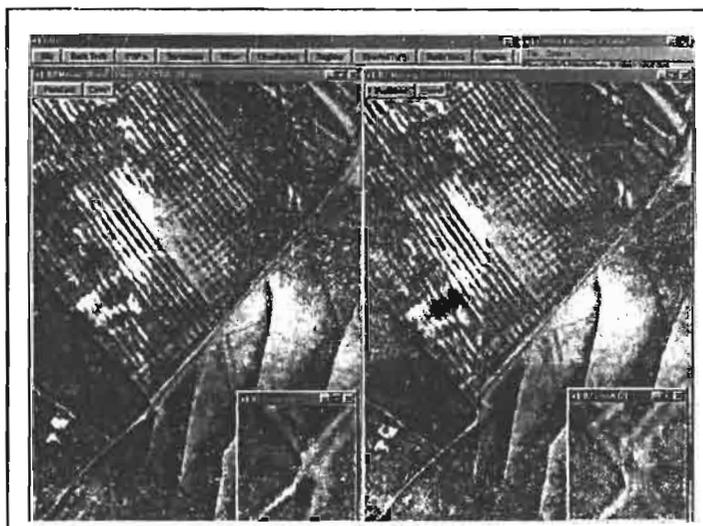
S'il est préférable de vérifier le géoréférencement des images avant de les assembler, il s'avère que bien souvent le mosaïquage est un fin moyen de vérification du géoréférencement.

Dans l'illustration ci-dessous, nous avons comparé (pour un même mosaïquage), deux modèles de déformation : polynôme d'ordre 1 (à gauche) et polynôme d'ordre 2 (à droite).

Figure 20 : Comparaison des modèles de déformation lors du mosaïquage

Les cultures en lignes permettent d'apprécier le décalage à la jointure de l'assemblage des deux algorithmes de déformations.

Dans tous les cas, nous avons retenu le modèle de déformation Polynôme d'ordre 1.



### **D - MOSAÏQUAGE DES IMAGES**

Il existe dans ENVI deux modes d'assemblage d'images :

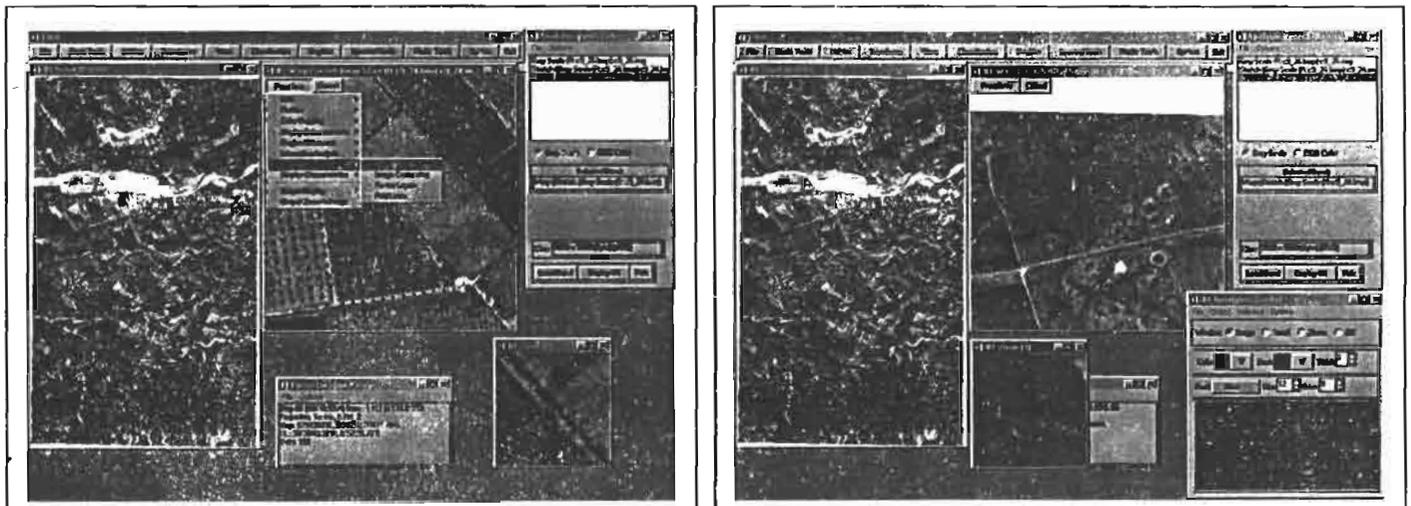
- par images géoréférencées ;
- ou par pixels.

Nous avons toujours utilisé le mosaïquage par images géoréférencées. Lorsque l'on assemble des images géoréférencées, il est nécessaire au préalable d'extraire la partie non désirable des images géoréférencées (cf. figure 21). Pour ce faire, deux méthodes sont possibles.

#### **1 - Les "annotations"**

On appliquera la méthode des annotations (terminologie d'ENVI) si aucune exclusion de valeur avant géoréférencement n'a été effectuée. Etant donnée, que nous avons calculé des taux de recouvrement suffisants entre les photographies brutes à assembler, même après déformations, le recouvrement reste convenable entre les images. Aussi, pour éviter de répéter des manipulations inutiles, il est nécessaire de savoir, avant de mosaïquer, quelle image viendra se superposer sur l'autre. On ne fera l'annotation que sur l'image qui recouvre l'autre.

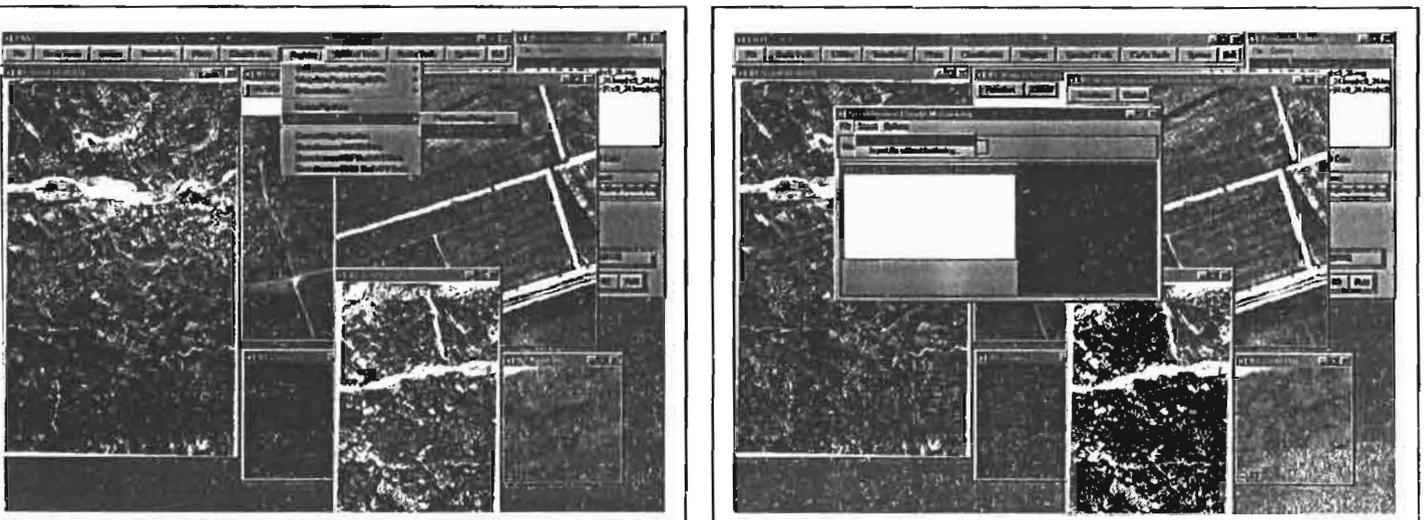
Figure 21 : Exclusion des parties non désirables (suite au géoréférencement) des images par Annotation



On crée l'annotation manuellement (une polygone et un symbole placé au niveau de la bande que l'on souhaite exclure).

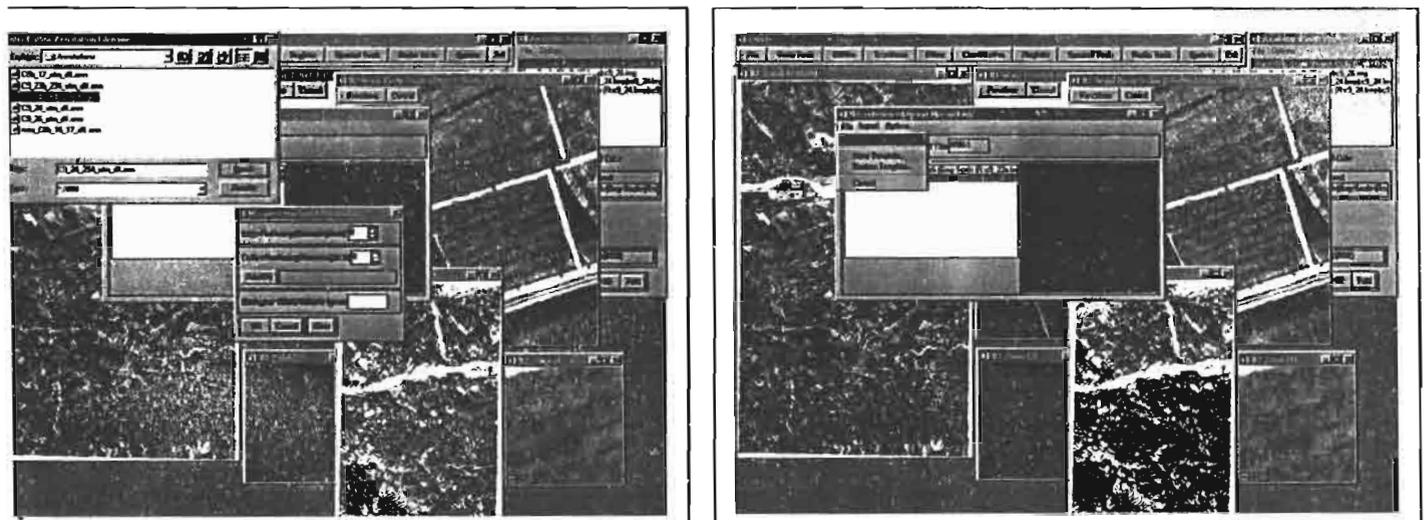
Une fois cette opération effectuée, on peut commencer l'assemblage.

Figure 22 : Assemblage des photos géoréférencées après les avoir annotées



A l'entrée de la deuxième image qui viendra superposer la première, on précise les conditions suivantes :

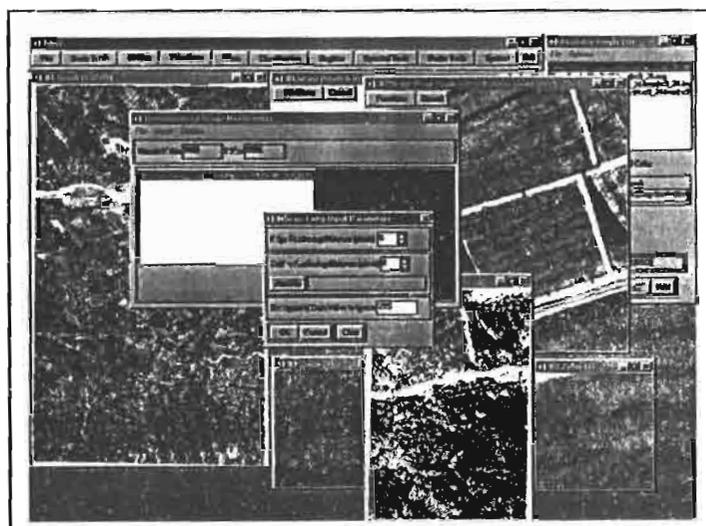
Avant de lancer le mosaïquage...



## 2 - L'exclusion d'une valeur de pixel dans l'image

Il est également possible d'exclure du mosaïquage une valeur de pixel. Dans le cas où l'on a effectué un "stretch" sur l'image (exclusion de la valeur 255 par exemple, cf. figure ci-dessous) avant le géoréférencement, on peut définir (à 255 selon le même exemple) les bandes altérées résultantes du géoréférencement. Avant le lancement du mosaïquage, on précise alors à ENVI de ne pas tenir compte de la valeur 255 pour éviter d'avoir des bandes blanches au milieu de l'image mosaïquée !

Figure 23 : Exclusion de la valeur de pixels indésirable avant le lancement du mosaïquage



On précise à ENVI avant le lancement du mosaïquage d'ignorer la valeur 255 (exclue préalablement lors du "stretch"). Dans ce cas, l'image stretchée est celle qui sera recouverte.

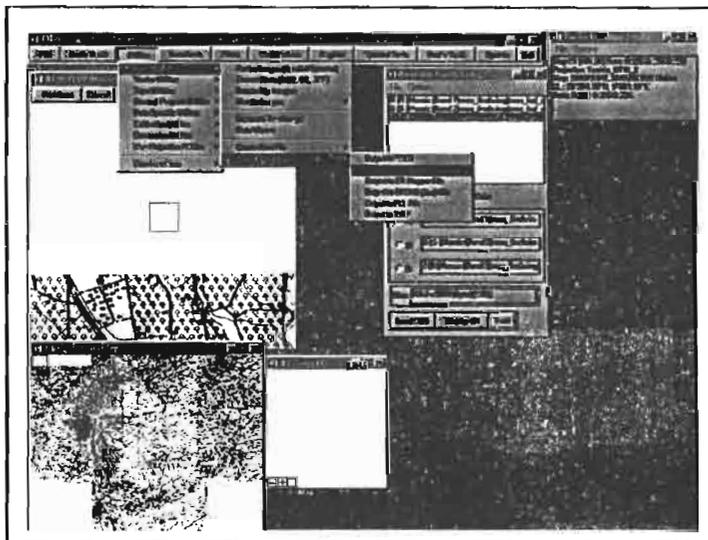
Remarque : Les photos ont été assemblées selon les périmètres irrigués (PI)<sup>47</sup> (cf. Annexe 11) de sortes que l'on puisse sur une seule image digitaliser un périmètre public irrigué donné et les parcelles et blocs hydrauliques qu'il comprend.

<sup>47</sup> Les onze photos n'ont pas été mosaïquées pour des raisons pratiques. La taille de l'image résultante aurait été de plus de 600 Mo en conservant la résolution fixée !

### E - EXPORTATION AU FORMAT ARCVIEW DES FICHIERS IMAGES

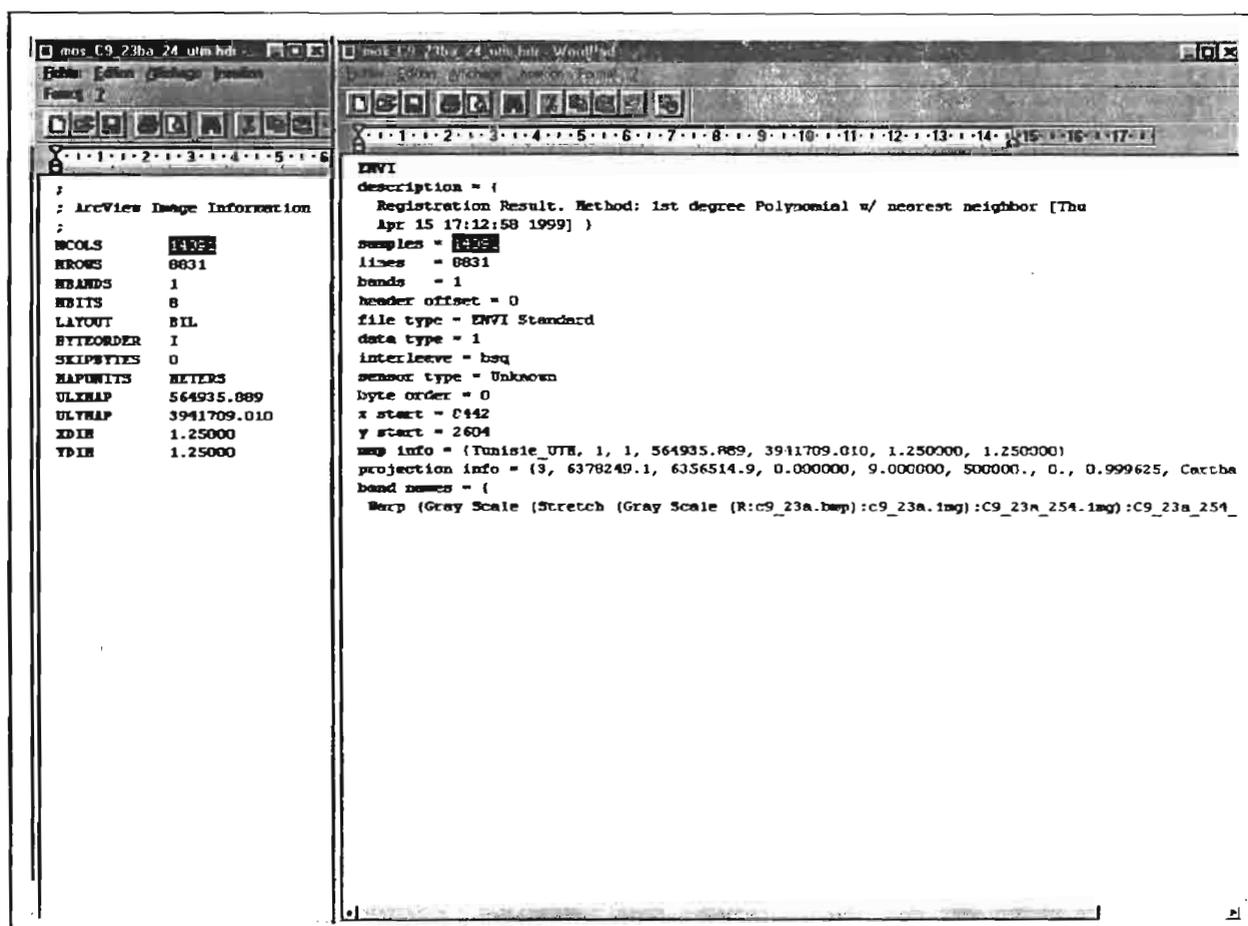
Il existe sous ENVI un format d'export réservé à ArcView (codage d'image en BIL). L'opération s'effectue comme suit.

Figure 24 : Exportation des images au format ArcView (\*.bil)



Notons que cette exportation en format BIL vers ArcView n'est pas totalement satisfaisante car si le codage de l'image (cf. Notes de bas de page n°37 et 38 pour distinction entre BSQ et BIL) en BIL est satisfaisant le fichier attributaire créé est de type ENVI. Avant l'importation sous ArcView, il faut créer un fichier header reconnu par ArcView en s'inspirant de leur forme type et en modifiant les paramètres de colonnes, de lignes, de résolution, etc. (à l'aide d'un éditeur de texte).

Figure 25 : Création d'un fichier attributaire ("header") ArcView pour l'importation



### **III - CREATION DES COUCHES THEMATIQUES (SOUS ARCVIEW)**

Le système de projection (Universal Transverse Mercator, fuseau 32 ; Ellipsoïde de Clarke 1880) et le datum (Carthage) retenu lors de l'élaboration des couches de fonds sont également appliqués à tous les fichiers importés vers ArcView et à toutes les couches générées.

Nous avons vu dans le chapitre II que la représentation des entités géographiques peut se faire selon deux modes : matriciels (image ou grille) et vectorielles (points, polygones ou arcs, et polygones).

Dans tous les cas, il faut distinguer les données fixes (caractéristiques d'un piézomètre par exemple) de celles variables dans le temps et dans l'espace (données affectées à chaque piézomètre). Pour chacune de ces types de données variables, on fixera un pas de temps approprié.

NB : Dans les deux tableaux suivants, on identifiera par un code de couleur les différents logiciels permettant d'effectuer les "Opérations requises" (intitulé des colonnes de tableau), ceci pour éviter des redondances.

- ArcView en rouge,
- Spatial Analyst en rose.
- et Idrisi en vert.

#### **A - LES COUCHES DE BASE**

##### **1 - Choix et justification**

On justifiera dans le tableau ci-dessous l'intérêt des thèmes retenus. Ces thèmes permettront de rattacher les informations (qualitative et quantitative) de la base de données à des objets géographiques compris dans des entités (thèmes) :

Tableau 4 : Choix et justification des couches de bases retenues

Légende

Logiciel utilisé

ArcView en rouge

Couches thématiques du SIG	Caractéristiques	Mode de représentation	Objectifs principaux	Origine des données	Précision	Opérations requises
Limites de la zone d'étude	Contexte d'étude	Vectorel (polygones)	Circonscrire l'étude aux limites de la zone d'étude et définir des notions d'appartenance	Fichier shp <sup>1</sup> associé à un fichier dbf	Définie par la précision et la résolution de la couche topographique	Rectification des contours par déplacement des vertex
Limites administratives Délégations Secteurs	Contexte administratif	Vectorel (polygones)	Restituer une entité donnée dans un contexte administratif	Fichier shp associé à un fichier dbf <sup>2</sup>	Définie par la précision et la résolution de la couche topographique	Rectification des contours par déplacement des vertex pour bonne superposition avec les limites données par les cartes topographiques de 1993
Courbes topographiques	Milieu	Vectorel (polygones)	Créer un modèle numérique de terrain (MNT) pour connaître l'altitude en tout point de la zone	Cartes topographiques au 1 : 50 000 de 1993 <sup>3</sup>	Définie par les cartes topographiques et l'erreur à la digitalisation	Utilisation d'une table à digitaliser et retouche des vertex à l'écran (en mode édition)
Piézométrie <sup>4</sup>	Ressource	Vectorel (points)	Visualiser dans un espace géoréférencé l'emplacement des appareils de mesures piézométriques recensées Créer un modèle numérique de nappe (MNN) pour connaître le niveau piézométrique en tout point de la zone	Rapports divers (CRDA, IRD) et enquêtes de terrain	Définie par la précision des données (des coordonnées géographiques notamment)	Vérification de la cohérence des coordonnées géographiques Changement de projection et de datum
Prises d'eau <sup>5</sup>	Accès	Vectorel (points)	Visualiser dans un espace géoréférencé les prises d'eau recensées	Rapports divers (CRDA, IRD) et enquêtes de terrain	Définie par la précision des données (des coordonnées géographiques notamment)	Vérification de la cohérence des coordonnées géographiques Changement de projection et de datum
Périmètres irrigués (PPI & AIC)	Usages	Vectorel (polygones)	Situer géographiquement les périmètres irrigués (PI) et les délimiter précisément Restituer tout objet compris dans les périmètres irrigués	Cadastre, plans d'aménagement des PI, fonds photographiques	Définie par la précision et la résolution de la couche de fond photographique, la précision du cadastre et par l'erreur à la numérisation	Digitalisation des contours (création d'arcs) Vérification <i>a posteriori</i> sur le terrain
Blocs hydrauliques (en gravitaire) et Lots d'irrigation (sous pression)	Usages	Vectorel (polygones)	Situer géographiquement les blocs et lots dans les PI et les délimiter précisément Restituer tout objet compris dans les blocs et lots	Cadastre, plans d'aménagement des PI, fonds photographiques	Définie par la précision et la résolution de la couche de fond photographique, la précision du cadastre et par l'erreur à la numérisation	Digitalisation des contours (création d'arcs) Vérification <i>a posteriori</i> sur le terrain
Parcelles	Usages	Vectorel (polygones)	Situer géographiquement les parcelles et les délimiter précisément Restituer tout objet compris dans les parcelles	Cadastre, plans d'aménagement des PI, fonds photographiques	Définie par la précision et la résolution de la couche de fond photographique, la précision du cadastre et par l'erreur à la numérisation	Digitalisation des contours (création d'arcs) Vérification <i>a posteriori</i> sur le terrain

<sup>1</sup> fichier "shape" ou fichier de formes propre à ArcView.

<sup>2</sup> réalisé par la cellule SIG de l'arrondissement des Soils du CRDA de Kairouan.

<sup>3</sup> éditées par l'OTC, Office de topographie et de cartographie tunisien ; les levés photogrammétriques des cartes topographiques ont été établis d'après les prises de vue aériennes de la mission 1990.

<sup>4</sup> il concerne les piézomètres, les piézographes et tout autre appareil apportant des informations (ponctuelles ou sur de longues séries chronologiques) sur les niveaux de nappe.

<sup>5</sup> elles correspondent aux puits de surface, aux forages publics et privés, aux sondages à bras, prises dans les émergences et dans les retenues d'eau.

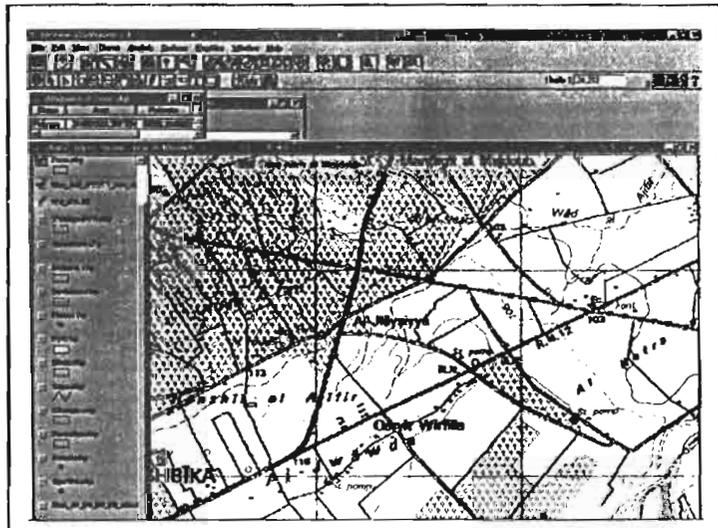
## 2 - Limites de la zone d'étude

Les limites de la zone d'étude servent à circonscrire notre travail dans un périmètre donné. Ces limites ont été tracées d'un commun accord par les partenaires du PNM MERGUSIE qui porte aussi sur le grand bassin versant amont du barrage El Haouareb (cf. figure 2). Pour la partie aval encore appelée ERU, notre zone d'étude correspond à une portion de la plaine de Kairouan, sous influence du barrage d'El Haouareb et de l'oued Merguellil. Certaines limites particulièrement dans la partie Nord de Chebika ont été digitalisées de manière fictive (prise en compte de limites administratives et de routes pointe Est de la zone), c'est-à-dire que cet ERU ne correspond pas à un ensemble fonctionnel hydrologique au même titre qu'un bassin versant *sensu stricto*. En revanche, dans les parties ouest du bassin, les limites correspondent à des lignes de crêtes (des jebels Ash-Shrishira, Houffiyya, Halfa, etc. au Nord Ouest et du jebel Draa Affane au Sud Ouest).

La couche de fond topographique est l'unique référentiel pour circonscrire la zone d'étude.

Figure 26 : Digitalisation des contours de la zone d'étude (zoom sur la limite Nord Est)

Le thème zone est en mode édition (entouré de pointillés). On peut déplacer les vertex selon les repères sur l'image topographique.



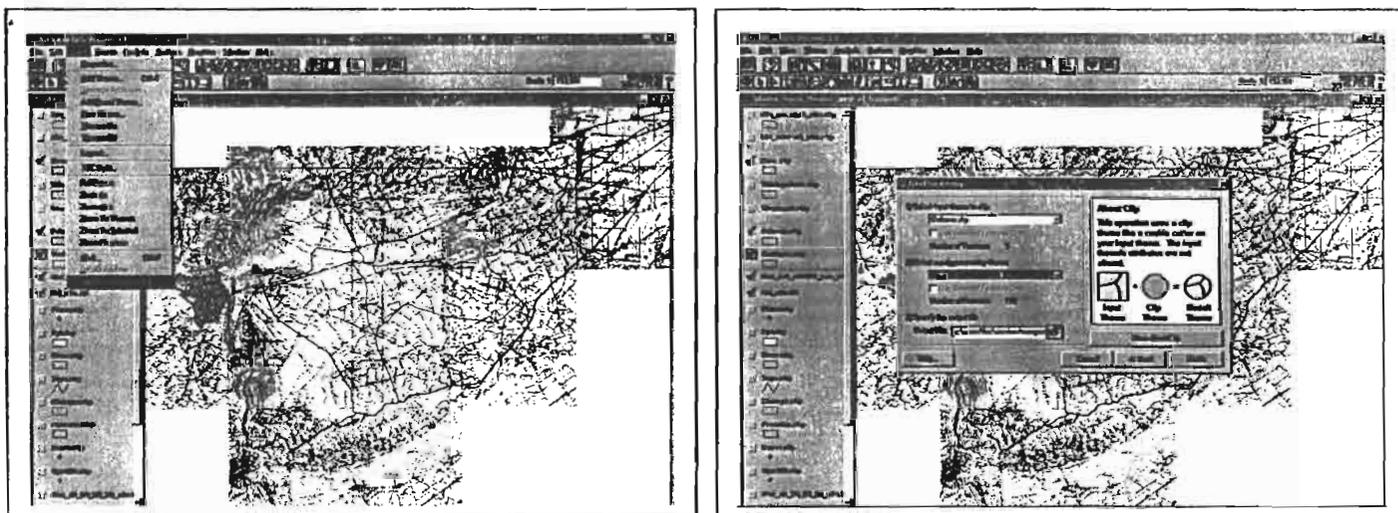
## 3 - Limites administratives

La délimitation des délégations a été élaborée à partir des cartes topographiques récentes au 1 : 50 000°. Le travail de digitalisation a été effectué par le personnel de la cellule SIG de l'arrondissement Sol du CRDA de Kairouan sur PC/ArcInfo. Les couches ArcInfo (géoréférencées dans le même système de projection et le même datum) ont ensuite été importées sous ArcView. Lors de la superposition des couches, on a constaté une très bonne concordance des paramètres géographiques de la cellule SIG de l'arrondissement Sol et de l'Unité hydrologie de la Mission IRD Tunis !

Cependant, les limites de secteurs ne figurent pas sur les cartes et ne sont pas bien arrêtées dans la réalité. C'est pourquoi, la cellule SIG du CRDA a fait appel à un bureau d'étude pour délimiter précisément les secteurs. Nous avons constaté des chevauchements entre les secteurs et les délégations, ce qui d'un point de vue topologique et de représentation de la réalité n'est pas acceptable. De même, dans le modèle conceptuel de données (cf. chapitre IV), une délégation peut comprendre un ou plusieurs secteurs mais l'inverse n'est pas possible (un secteur donné est compris dans une délégation et une seule!). Aussi, nous avons dû faire correspondre les frontières des secteurs avec celles des délégations (dont les limites sont clairement établies comme nous venons de le voir).

Pour ce faire, nous avons eu recours à l'extension d'ArcView "Geoprocessing Wizard" permettant de "cliper" le thème Secteurs sur le thème Délégations !

Figure 27 : Création de frontières communes entre les délégations et les secteurs compris dans la zone d'étude (extension Geoprocessing Wizard)



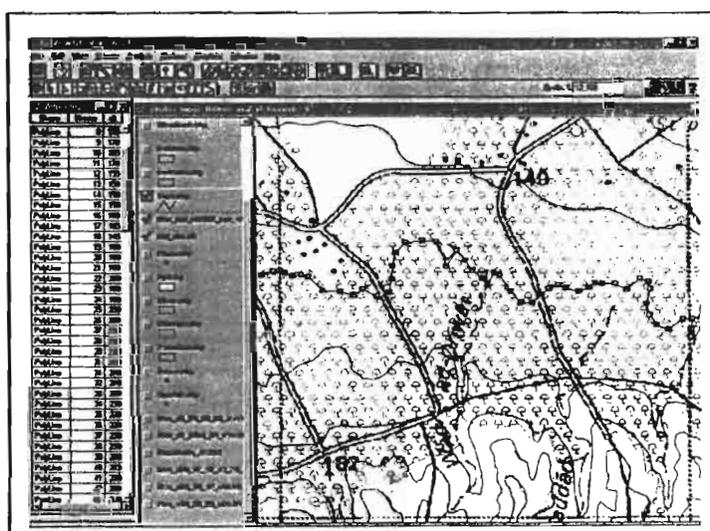
#### 4 - Courbes topographiques

Une des caractéristiques principales de l'ERU est qu'il présente une topographie peu accidentée et un faible dénivelé. Aussi, la topographie sur l'ensemble de la zone d'étude est une indication précieuse à condition qu'elle soit précise. Les courbes topographiques correspondent à des lignes de même altitude dans un espace bidimensionnel. Leur équidistance minimale est de 5 mètres.

Ces isolignes n'intersectent pas nécessairement un objet (exemple : une prise d'eau ne se trouve pas nécessairement sur une courbe de niveau) sur l'ERU pour lequel on souhaite connaître précisément la cote (cf. tableau 5 page 74) pour être en mesure de connaître l'altitude d'un point donné de l'ERU. Aussi, pour arriver à nos fins, il faudra interpoler ces isolignes (cf. tableau 5) pour être en mesure de connaître l'altitude d'un point donné de l'ERU.

Tout comme pour le tracé de la limite de l'ERU, nous nous sommes basés sur le fond topographique pour digitaliser les courbes de niveau.

Figure 28 : Retouche des vertex des courbes de niveau (pré-digitalisées à partir d'une table à numériser) sur la couche de fond topographique



Lors de la modification des vertex d'une courbe de niveau dans la Vue, l'enregistrement correspondant de la table attributaire du thème Topo est activé (en surbrillance jaune).

## 5 - Piézométrie

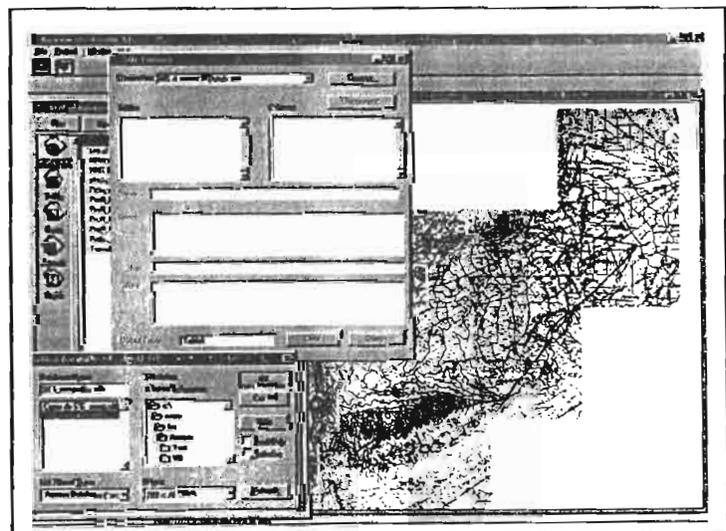
Il est évident que la représentation la mieux adaptée pour symboliser les piézomètres est le vectoriel en point car ils correspondent à des sondages qui permettent de mesurer le niveau statique de la nappe souterraine. Ils sont liés à des variables quantitatives mensuelles ou trimestrielles destinées à évaluer le niveau de la ressource en eau souterraine. Les 48 piézomètres retenus sur l'ERU sont principalement repartis sur la zone d'influence du barrage et le long des oueds. Ils donnent des indications ponctuelles sur le niveau piézométrique de la ressource souterraine; et ce sur des séries chronologiques parfois de plusieurs dizaines d'années. Certains d'entre eux peuvent être représentés sans qu'ils soient aujourd'hui en service parce que des séries de mesures piézométriques s'avèrent utiles pour comprendre le comportement de la nappe (comparaison entre deux séries chronologiques).

Nous avons obtenu auprès du CRDA toutes les coordonnées des piézomètres (dont certains avaient été vérifiés par un bureau d'étude tunisien) en fichier Microsoft Excel. Seulement, ces coordonnées selon l'âge et les sources figuraient dans des systèmes géographiques et des unités très divers : Grades décimaux, Degrés décimaux, Degrés Minutes Secondes, Lambert Conique Conforme, UTM !!! Il a fallu par conséquent ramener toutes les coordonnées dans un même référentiel. Nous avons opté pour les degrés décimaux car le type Lat°/Long° en degrés décimaux est celui adopté par défaut dans ArcView. De nombreux scripts ne fonctionnent d'ailleurs que si les thèmes affichés dans une vue sont en degrés décimaux.

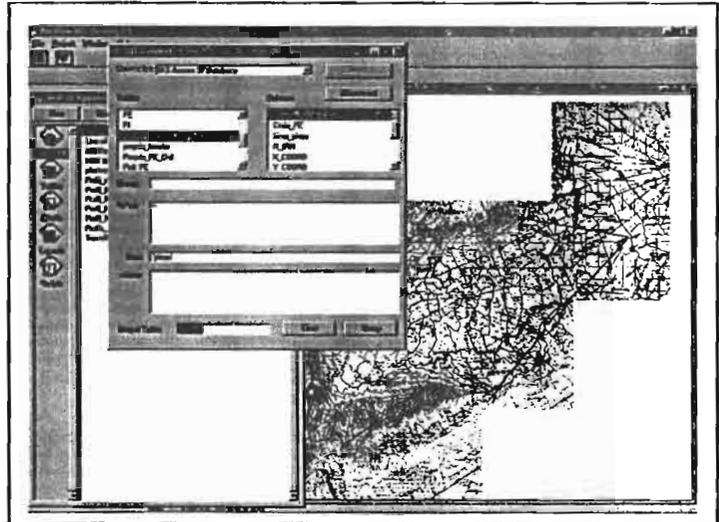
A partir de ces fichiers corrigés on a pu créer une table Access "Piezo" intégrant toutes les caractéristiques importantes des piézomètres. On importe alors cette table Access à l'aide de la connexion SQL Access.

Figure 29 : Importation de la table Access des caractéristiques des piézomètres (connexion SQL depuis ArcView)

On spécifie alors à ArcView le chemin d'accès du fichier mdb.



Les tables et les requêtes contenues dans le fichier mdb spécifié apparaissent alors dans la fenêtre. On peut choisir de ne retenir que certains champs sur lequel on appliquera des filtres ! Ce qui n'a pas été effectué sur cette illustration, avant de nommer la table de sortie qui aura pour prendra automatiquement une extension dbf.



On récupère alors la table id\_piezo.dbf dans l'onglet du projet Tables avant de lui appliquer la fonction Add Event Theme. A l'aide de la fonction "Add Event Theme" d'ArcView (réservé à l'importation de données ponctuelles pour lesquelles on connaît la position géographique en latitude et en longitude – codés dans deux champs distincts deux champs), nous avons affiché les piézomètres dans une Vue ArcView.

Figure 30 : Visualisation de table Piezo importée d'Access et convertie en dbf

On constate qu'il est nécessaire de prendre certaines précautions dans la nomination des champs et des enregistrements (éviter les blancs, les accents ou les caractères particuliers du genre :, & ° %, /, etc.) sans quoi il peut y avoir des petits problèmes lors de l'import.

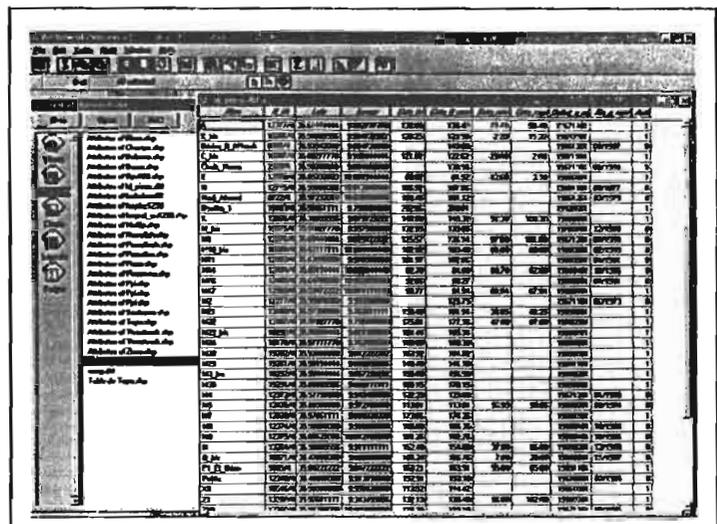
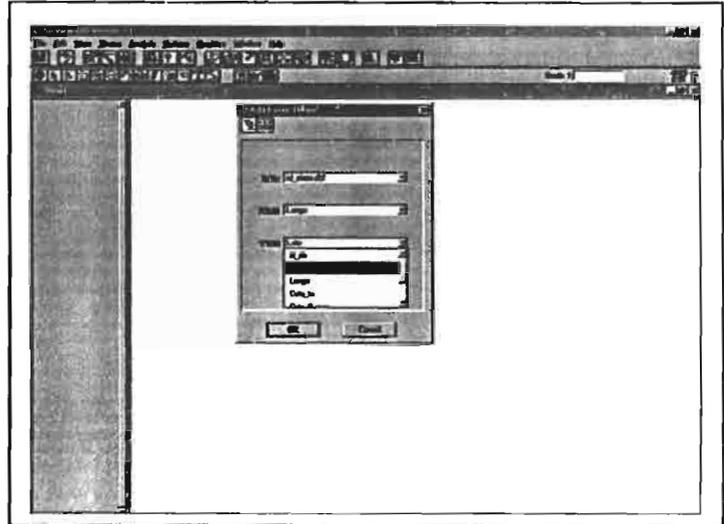


Figure 31 : Création automatique d'un thème de points pour les piézomètres (fonction Add Event Theme) dans une vue non projetée et dont les unités sont fixées en degrés décimaux

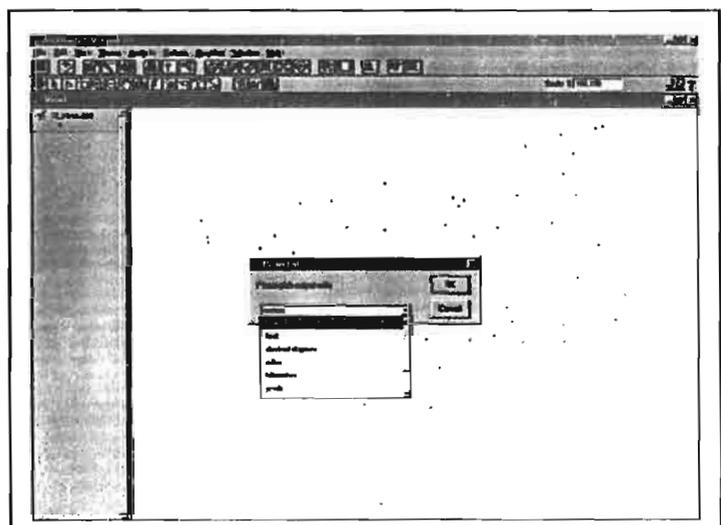
Une fois la table choisie, on spécifie les champs pris comme coordonnées géographiques



Une fois cette opération effectuée, les piézomètres sont replacés dans le système de projection (UTM fuseau 32 et ellipsoïde de Clarke 1880) et selon le datum (Carthage) fixés préalablement à l'aide de l'extension Projector ! (nouvelle extension depuis la version 3.1 d'ArcView fort utile ; il fallait auparavant utiliser un script beaucoup plus rudimentaire).

Figure 32 : Changement de projection sur le thème de points Piézomètre (extension Projector)

On précise les unités de la vue de sortie !



Puis les paramètres de projection de sortie sans se tromper dans le facteur d'échelle (selon les échelles des cartes topographiques de notre zone, ces facteurs peuvent varier de 0.0966 à 0.0967 ce qui ne facilite pas la décision). Il faut par conséquent faire preuve de la plus grande prudence quant à ce facteur d'échelle (cf. figure suivante), le méridien central qui dépend du fuseau, le faux Nord et faux Est!

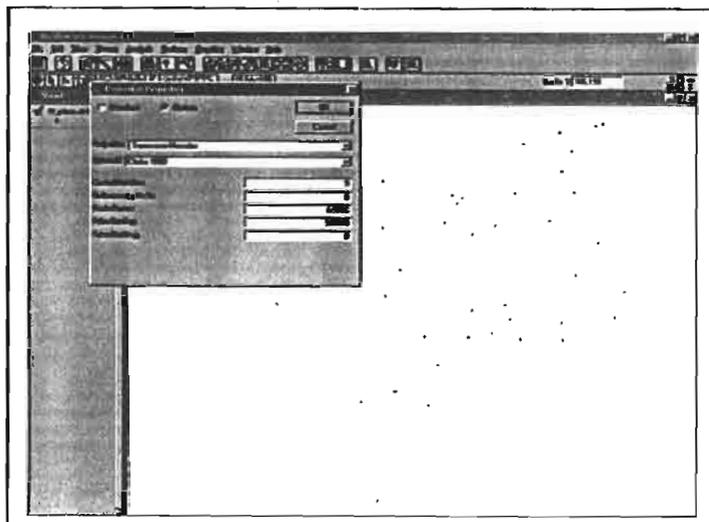
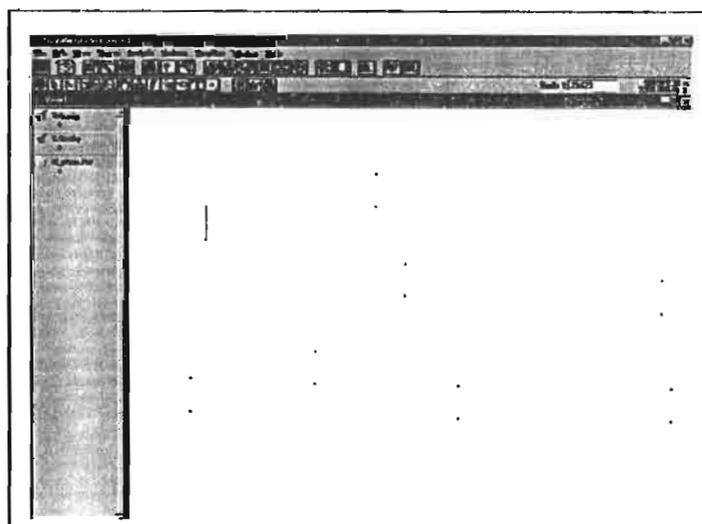


Figure 33 : Décalage observé après projection pour deux facteurs d'échelles 0.0966 (points verts) et 0.0967 (points bleus)

Pour une différence de 0.0001 point de facteurs, le décalage Nord Sud est supérieur à 390 mètres !



Une fois la couche projetée dans le bon système de projection et dans les bonnes unités, on peut définir les nouvelles coordonnées X, Y des piézomètres



est assez rare au CRDA. Les prises d'eau publiques sont parfois replacées sur des cartes topographiques (éditées à la fin du 19<sup>e</sup> siècle) et permettent de définir grossièrement un jeu de coordonnées le plus souvent en Grades décimaux ! Par conséquent, il est légitime de ne pas s'y fier totalement. Nous avons dû procéder à des recensements de prises d'eau (sur des zones cibles car nous ne disposons pas de temps et de moyens suffisants pour inventorier et replacer dans l'espace les quelques 3 500 prises d'eau existantes sur l'ERU !) et des vérifications sur le terrain à l'aide de GPS et des photos aériennes ! Notons que l'imprécision du GPS (après "moyennage" d'environ 10 mètres) n'est pas gênante pour notre travail. L'important est de bien resituer une prise d'eau dans "sa parcelle".

Les points GPS une fois déchargés de l'appareil doivent sortir en format dBASE pour être importés dans une "Vue" ArcView à l'aide de la fonction "Add Event Theme" (de la même manière que précédemment).

### **7 - Périmètres Irrigués - Blocs hydrauliques et lots d'irrigation**

Les PI correspondent à des zones aménagées par l'Etat pour l'irrigation. ils peuvent être gérés par le CRDA (Périmètre Public Irrigué : PPI) et ses services déconcentrés ou des Associations d'irriguants (Association d'Intérêt Collectif : AIC). Leur mode de représentation vectoriel en polygone est évidente dans la mesure où ils définissent une portion précise du territoire. Le mode matriciel a été écarté car il s'avère être dans ce cas (comme dans celui des secteurs, des délégations, et de la zone d'étude) beaucoup moins pratique et maniable. De plus, les matrices ont très souvent une dimension quantitative (donnée par une valeur de pixel). Or, l'objet de ces thèmes est principalement de circonscrire une zone et de visualiser les sous-entités qu'elles comprennent ! La dimension quantitative n'intervient que très peu à ce niveau, mis à part le calcul de la superficie et les fonctions de densités qui peuvent être appliquées sur ces entités ou sur les objets de ces entités.

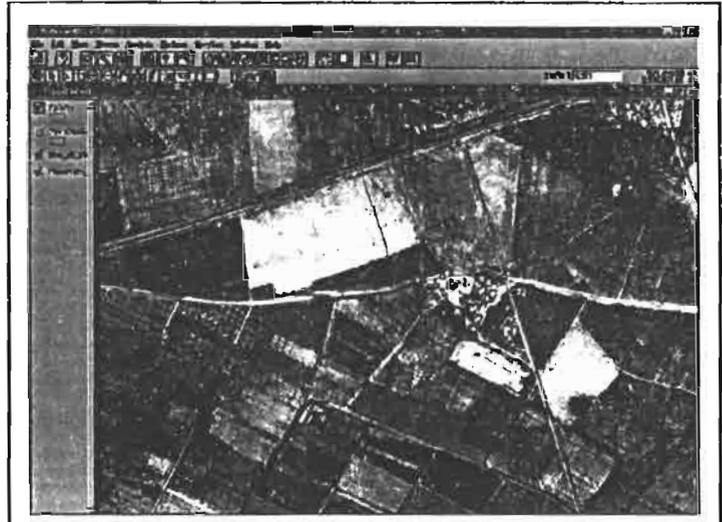
Au sein de ces infrastructures, on distingue des sous ensembles qui sont en irrigation :

- gravitaire, des blocs hydrauliques;
- sous pression, des lots d'irrigation (pour le PPI El Haouareb).

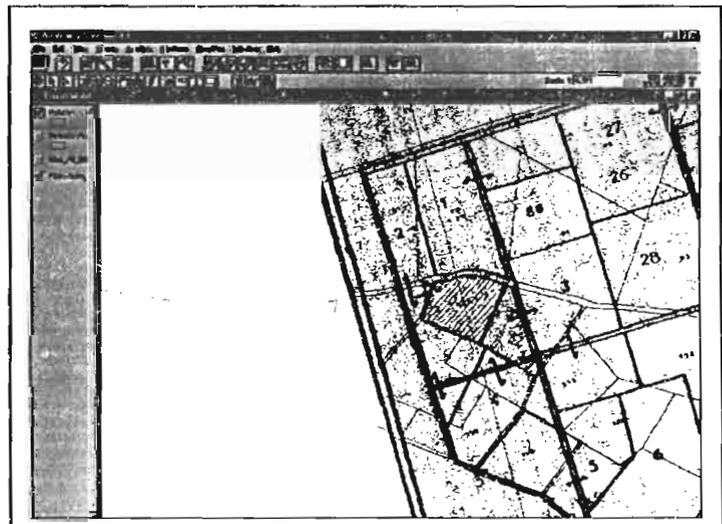
Pour digitaliser les contours de ces entités, une confrontation des photos aériennes avec les plans cadastraux a due être faite systématiquement !

Figure 35 : Digitalisation des contours des infrastructures fonctionnelles d'irrigation (Périmètres irrigués, Blocs hydrauliques et lots d'irrigation)

La délimitation des PPI (exemple d'El Haouareb) n'est pas toujours évidente avec la couche de fond panchromatique !



C'est pourquoi le cadastre peut être utile ! L'un dans l'autre, ils s'avèrent être des plus efficaces !



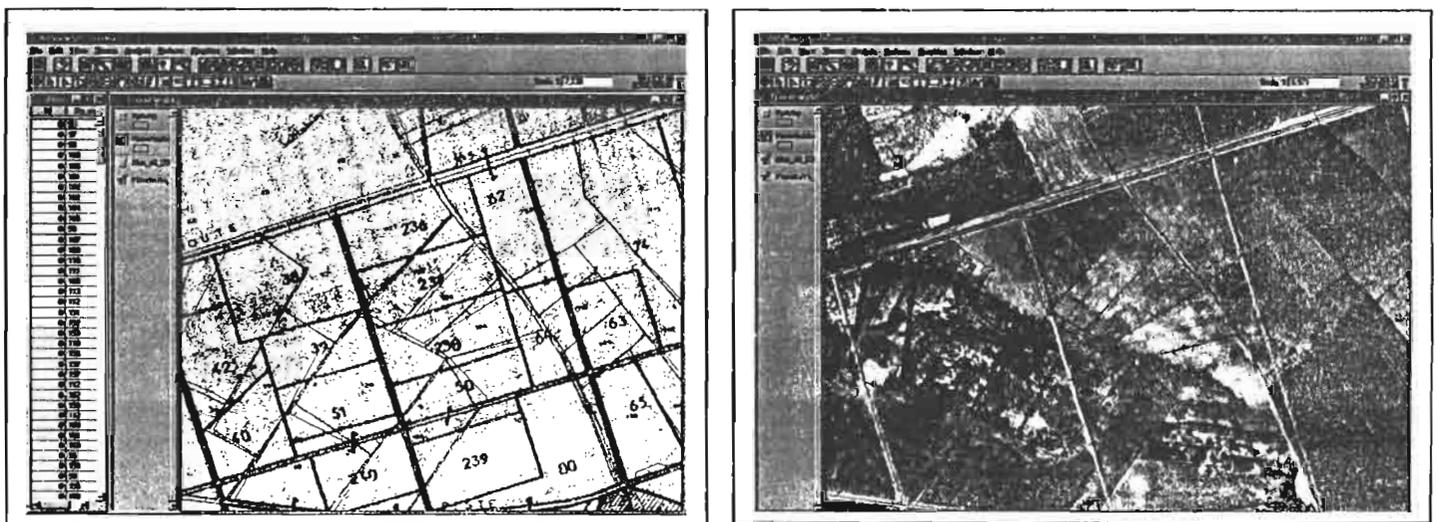
## 8 - Parcelles

Le thème parcelle est une entité centrale dans notre SIRS. Elle en effet est rattachée aux ressources en eau par l'intermédiaire des prises d'eau mais elle permet également de remonter aux exploitations agricoles par l'intermédiaire des exploitants agricoles et des propriétaires fonciers.

Le Petit Larousse définit une parcelle comme étant une "Pièce de terrain de même culture ou de même utilisation, constituant une unité cadastrale". Cette définition est mal adaptée au

contexte tunisien. En effet, si la parcelle correspond à une unité cadastrale, elle correspond rarement à une zone culturale homogène. Les parcelles sont fréquemment découpées en champs qui peuvent appartenir à différents propriétaires et être exploités par plusieurs agriculteurs. C'est pourquoi, on retiendra plutôt comme définition de la parcelle : *la plus petite portion d'un territoire agricole bien délimitée dans l'espace et fixe dans le temps*. Le plus souvent, les parcelles de notre zone d'étude, contrairement aux champs, sont séparées par des figuiers de barbaries ou des murets de pierre ce qui facilite leur délimitation à partir de la photo aérienne. La superficie moyenne des parcelles privées subdivisées en champs avoisine l'hectare.

Figure 36 : Digitalisation des parcelles à partir des cadastres et des couches de fond photographiques



#### Notes sur la terminologie utilisée

Ce que nous appelons "parcelle" est désigné sur le cadastre tunisien comme étant un lot et ce que nous nommons "champ" correspond dans le cadastre à une parcelle. Nous avons préféré changer la terminologie foncière et culturale pour éviter toutes confusions car, sur certains plans d'aménagements de PPI (exemple : El Haouareb), les lots peuvent désigner des groupes de parcelles (selon notre terminologie) ou, selon la terminologie tunisienne, des groupes de lots!!!

**B - LES COUCHES ELABOREES**

On entend par couches élaborées, les couches calculées à partir des données rattachées aux thèmes de bases précédemment présentés.

Avec ArcView, on peut exprimer des données quantitatives de plusieurs manières :

- emploi des graphiques rattachés à une entité géographique;
- affectation de couleurs (exprimant une classe de valeur) à des objets d'entités vectorielles (fichier shp);
- recours à de grilles raster avec Spatial Analyst (affectation de couleur à des classes de valeur).

Les trois premiers thèmes seront représentés en "grid" (Spatial Analyst), et les trois suivants figureront en polygone, soit en mode vectoriel.

Tableau 1 : Choix et justification des couches élaborées retenues

Thèmes SIG	Variables retenues	Intérêts	Opérations requises	Pas de temps retenus	Origines des données	
					Types	Périodicité
MNT <sup>1</sup>	Niveaux topographiques (en mètres par rapport au niveau de la mer)	Connaitre en tout point de la zone d'étude l'altitude par rapport au niveau de la mer	Conversion du fichier Topo.shp (isolignes de courbes de niveau) en image Interpolation Importation et création de classes	Continu	OTC : Cartes topographiques au 1 : 50 000 (équidistance de 5 mètres)	Continu
MNN <sup>2</sup>	Niveaux piézométriques (en mètres par rapport au niveau de la mer)	Evaluer les fluctuations du niveau de la nappe sur toute la zone d'étude sur une période donnée	Affectation à chaque point (coordonnées X, Y des piézomètres) de moyennes piézométriques sur une période définie Interpolation de points et création de classes	Mensuel : Extrapolation linéaire pour les données manquantes Moyenne mensuelle si plusieurs mesures dans le mois	CRDA : Piézographes / Piézomètres Forages / Sondage à bras	Mensuel Ponctuel
MQE <sup>3</sup>	Salinité de l'eau (en mg/L)	Evaluer les variations spatio-temporelle de la salinité de l'eau dans la zone d'étude	Affectation à chaque point de moyennes de salinité sur une période définie Interpolation de points et création de classes	Annuel : Extrapolation linéaire pour les données manquantes Moyenne annuelle si plusieurs mesures dans le mois	CRDA : Piézographes / Piézomètres Forages / Sondage à bras Forages d'exploration	Mensuel Ponctuel
ConsEau_PI <sup>4</sup>	Volumes d'eau puisés sur l'ensemble du PI : Au forage public Au niveau des puits de surface A l'émergence	Comparer les V <sup>3</sup> eau puisés : aux besoins théoriques en eau des cultures à la demande des exploitants agricoles la capacité théorique du réseau de distribution (débit potentiel maximum)	Calcul de moyennes de consommation en eau sur une période définie Affectation à chaque polygone des valeurs de consommation en eau et création de classes	Mensuel : Extrapolation linéaire pour les données manquantes Moyenne mensuelle si plusieurs mesures dans le mois	CRDA / STEG : Compteurs Fellahs : Estimations (pour pompe à gasoil)	Mensuel, trimestriel, saisonnier ou annuel
ConsEau_Parcelle (en PI et hors PI)	Volume d'eau irrigué à la parcelle	Comparer les V <sup>3</sup> eau irrigués à la parcelle : aux besoins en eau des cultures à la demande des exploitants agricoles	Calcul de moyennes de consommation en eau sur une période définie Affectation à chaque polygone des valeurs de consommation en eau sur une période définie et création de classes	Mensuel : Extrapolation linéaire ou estimation pour les données manquantes	CRDA / Fellahs / STEG / Mission IRD Tunis : Abaques de pompes <sup>5</sup> exprimant le débit en fonction de la consommation électrique et du niveau statique Relevés de compteur	Mensuel, trimestriel, saisonnier ou annuel
OoCultures_Parcelle	Type de cultures	Estimer les superficies des cultures sur des échelles d'espace différente (de la parcelle jusqu'à la plaine de Kairouan) Evaluer la consommation en eau par parcelle	Calcul de ratios d'occupation de sol par type de culture sur une période définie Affectation à chaque polygone des ratios et création de classes Application de coefficients cultureux	Saison	CRDA / Fellahs / Mission IRD Tunis : Emblavures par parcelle	Saisonnier

Des corrélations entre "ConsEau\_Parcelle" et "OoCultures\_Parcelle" pourront par la suite être effectuées pour savoir par exemple dans quels encroits de FERU, les consommations en eau sont majoritairement liées au facteur type de culture et dans quelles autres régions, les consommations en eau sont plus à mettre en relation avec les pratiques de l'irriguant (exemple : demande de l'agriculteur supérieure aux besoins en eau théorique des plantes ou Volumes d'eau réellement irrigués supérieurs à ces mêmes besoins théoriques).

<sup>1</sup> Modèle Numérique de Terrain, encore appelé Modèle Numérique d'Élévation

<sup>2</sup> Modèle Numérique de Nappe

<sup>3</sup> Modèle de Qualité des Eaux

<sup>4</sup> Pour évaluer le taux d'intensification d'irrigation, les consommations en eau par PI pourront être divisées par la Surface Agricole Utile (SAU) comprise dans le PI ou par la superficie irriguée correspondant à la somme des parcelles irriguées et comprises dans le PI.

<sup>5</sup> obtenus à partir de mesures de débit sur un échantillonnage de pompes.

## **1 - Le Modèle Numérique de Terrain**

### **1.1 - Un intérêt double**

En plus de donner des informations altitudinales en tout point de l'ERU, le Modèle Numérique de Terrain, si ses informations sont croisées avec le MNN (cf. partie suivante), (encore appelé Modèle Numérique d'Élévation), permettra de connaître les profondeurs d'exhaure spatialisées sur tout l'ERU (différence entre les cotes du MNT et les cotes de la Nappe considérées sur une période donnée). Ces profondeurs d'exhaure qui conditionnent l'accès à l'eau peuvent être des facteurs explicatifs de stratégies d'irrigation et sont donc de ce fait un paramètre important pour la gestion intégrée de l'eau sur la plaine de Kairouan sous dépendance principale du barrage El H zouareb et de l'oued Merguellil. Ainsi, des simulations appuyées par les modèles hydrauliques effectués sur le barrage et la nappe pourront alors être envisagées. De même, le Modèle Numérique de Terrain peut permettre d'estimer les contraintes d'accès à l'eau en terme économique. On pourrait tout aussi bien, dans une région donnée, juger du meilleur endroit d'implantation d'un forage en terme de coût, de rentabilité économique et de durabilité de la ressource.

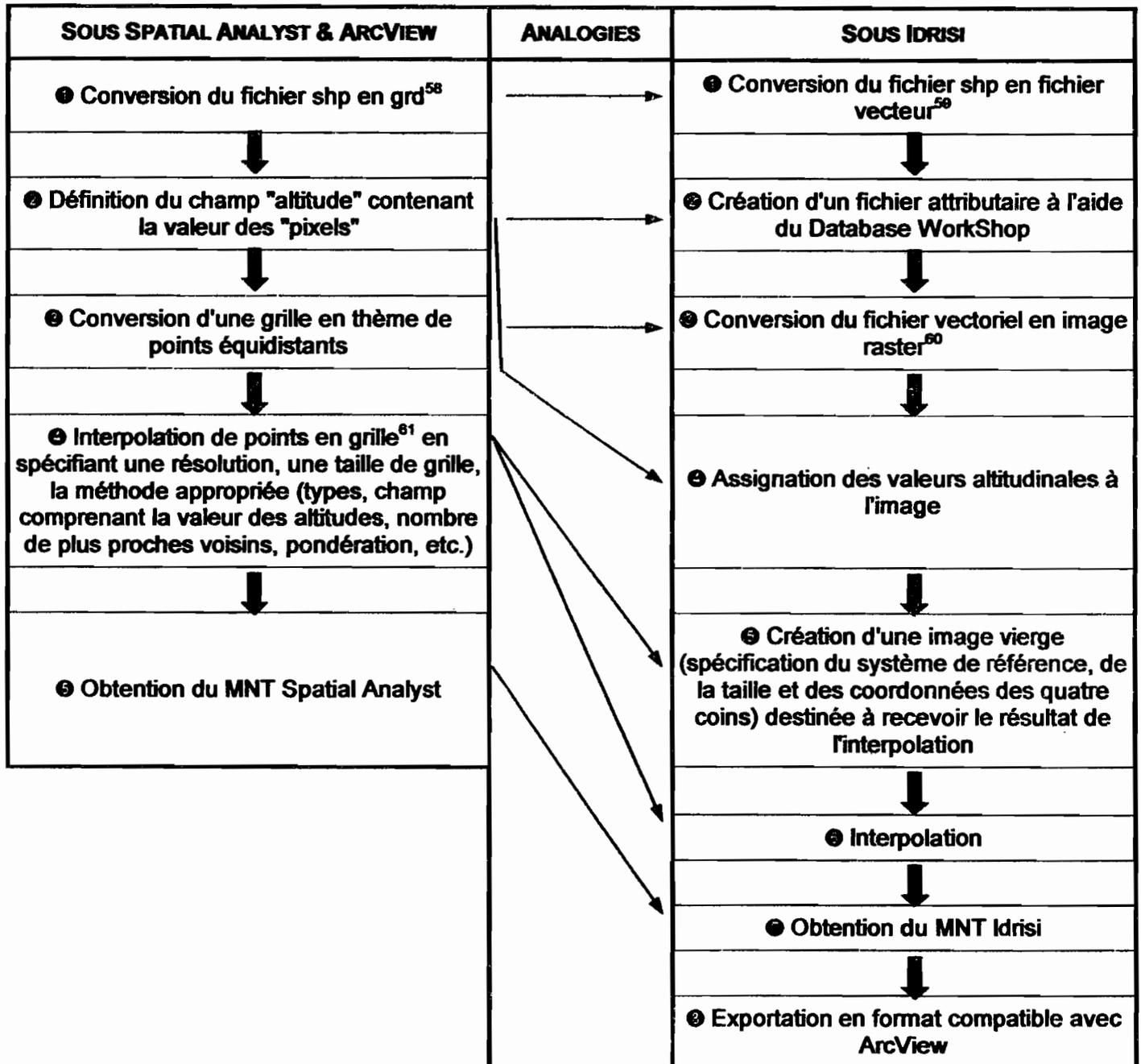
### **1.2 - L'élaboration du MNT**

La couche de base qui sert à la réalisation du MNT est le fichier de formes (polylignes) représentant les courbes de niveau préalablement digitalisées à partir de la mosaïque de cartes topographiques au 1:50 000.

Par interpolation de ces courbes de valeurs altitudinales, plusieurs MNTs ont été conçus afin de comparer leur précision et leur adéquation avec les objectifs de l'étude. Les variantes concernaient la résolution du MNT ou surtout l'algorithme d'interpolation appliqué. Deux logiciels (Spatial Analyst & Idrisi) permettant cette opération ont été testés. Nous détaillerons dans les parties suivantes les résultats obtenus.

1. 2. 1 - Diagramme synthétique des étapes d'élaboration des MNT

Tableau 6 : Les étapes d'élaboration des MNT sous Spatial Analyst et Idrisi



<sup>58</sup> grd : format grid (grille) propre à ArcView

<sup>59</sup> A l'aide du module d'import/export d'Idrisi (fonction SHPIDR)

<sup>60</sup> Fonction "LINERAS" d'Idrisi

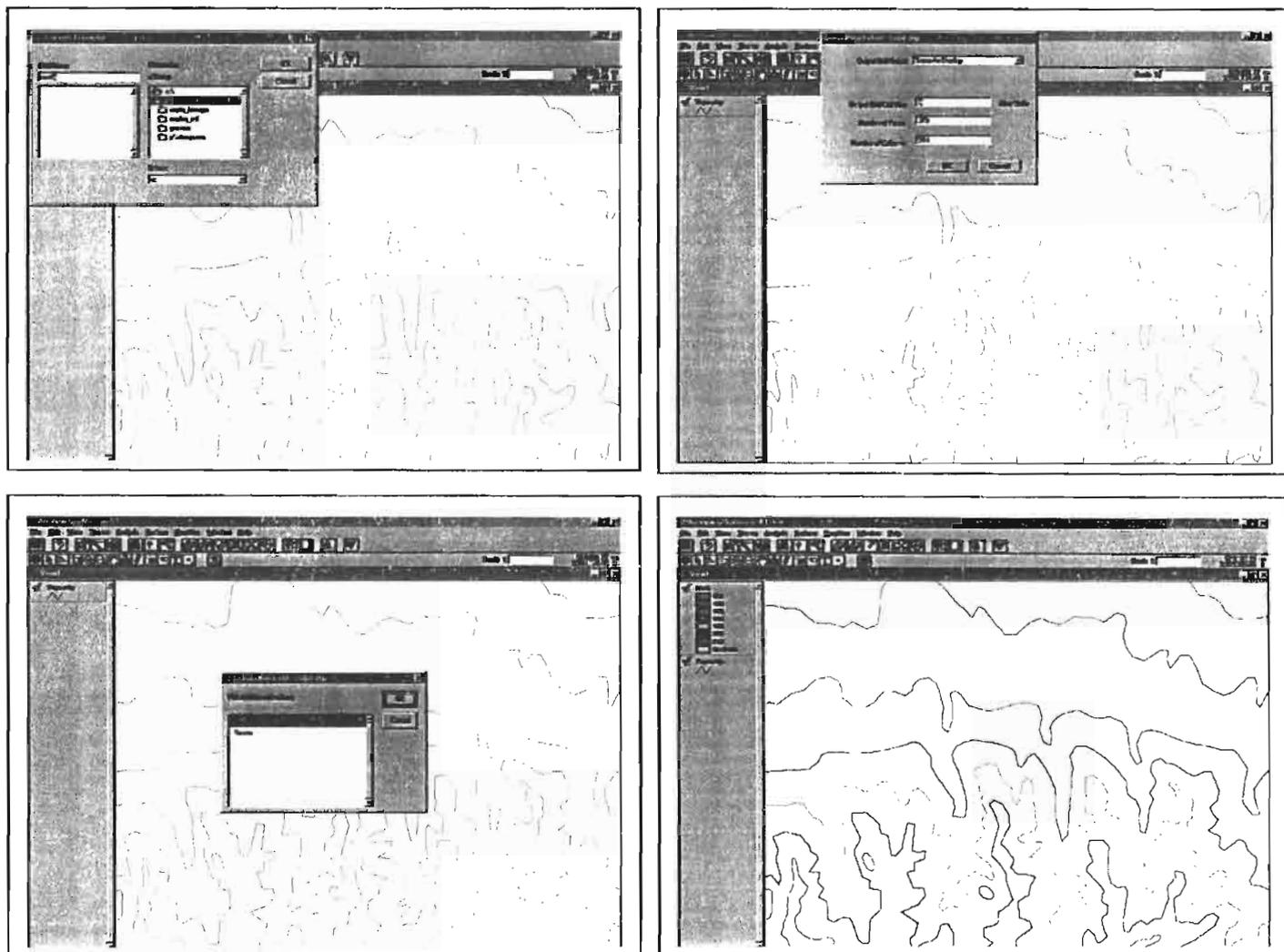
<sup>61</sup> Deux méthodes d'interpolations de surface existent par défaut : IDW (Inversed Distance Weight : chaque point a une influence locale qui diminue avec la distance) et Spline (lissage des points par minimisation des surfaces de courbures)

### 1. 2. 2 - MNT créé sous ArcView à l'aide de Spatial Analyst

Plutôt que de tenter une interpolation sur toute la zone concernée, nous avons dans un premier temps retenu une petite portion de l'ERU qui présente de fortes hétérogénéités topographiques.

*Présentations des étapes successives*

Figure 37 : Conversion d'un thème shape (polylignes) en grid (Spatial Analyst)

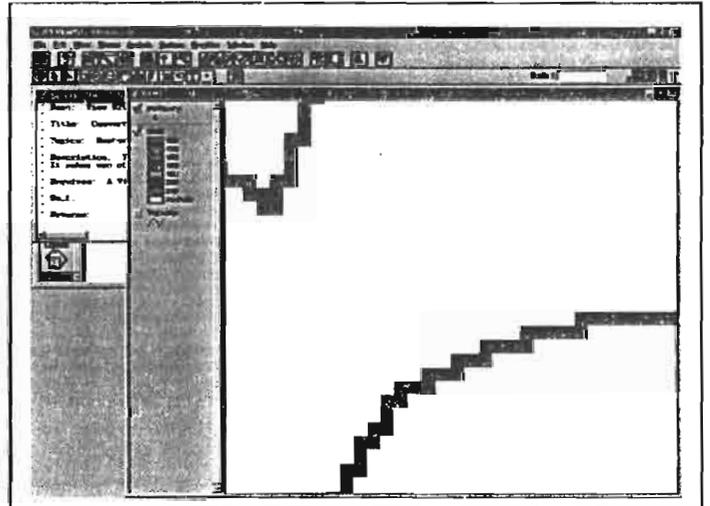
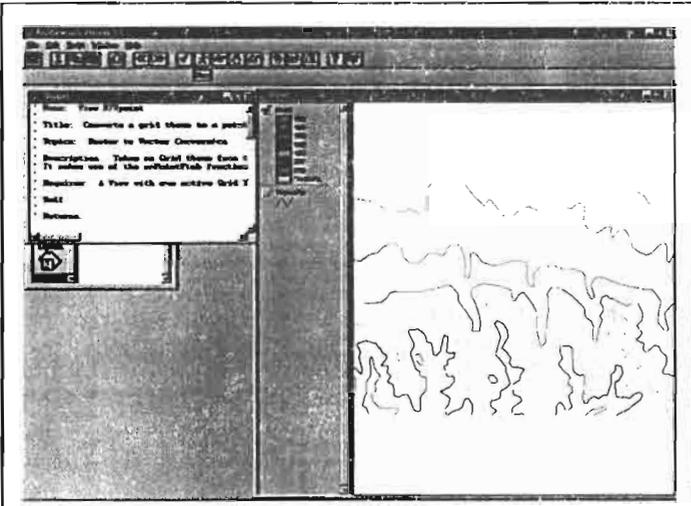
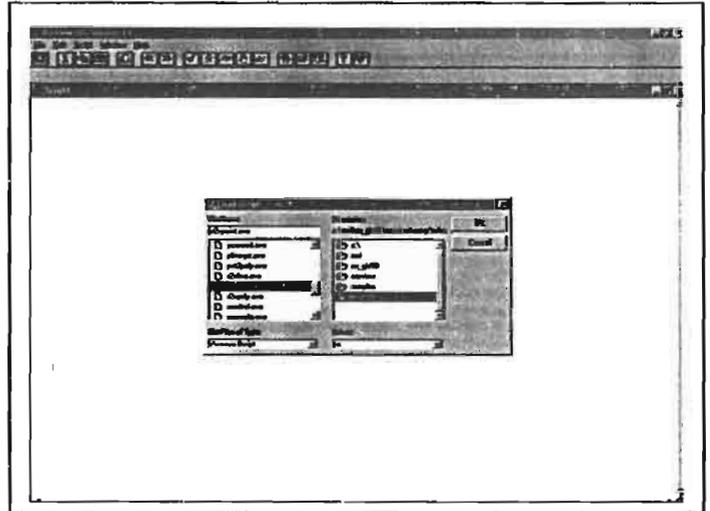


On obtient alors une grid dont nous avons fixé la résolution 5 mètres avec pour valeur les altitudes affectées à chaque courbe de niveau.

Cependant, l'interpolation de Spatial Analyst n'est pas possible que sur des points. C'est pourquoi, on crée une grille de points équidistants à l'aide d'un script (accessible dans le répertoire par défaut suivant C:\esri\AV\_GIS30\ARCVIEWSamples\scripts).

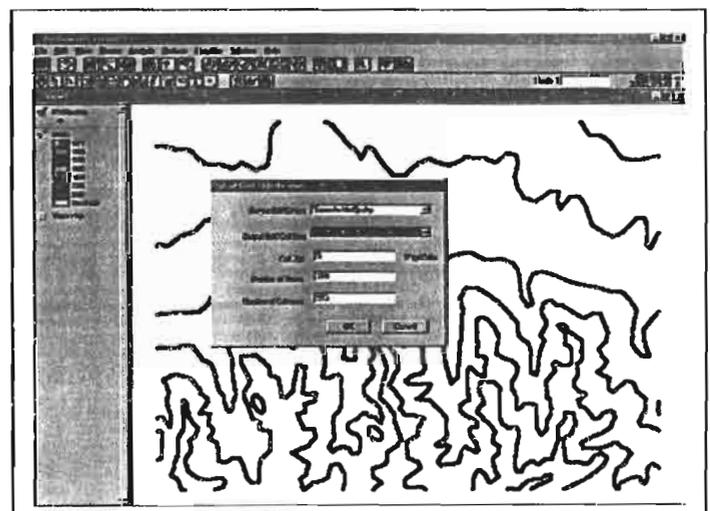
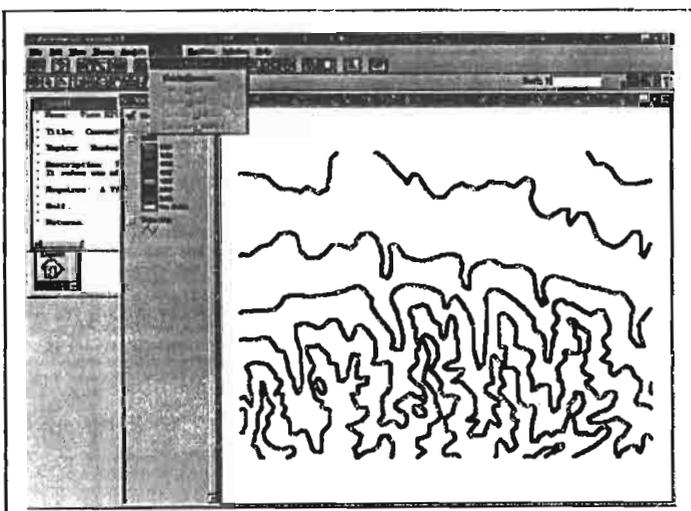
Figure 38 : Conversion d'une "grille active" en un thème de points (script R2Vpoint)

Chargement du script R2vpoint !



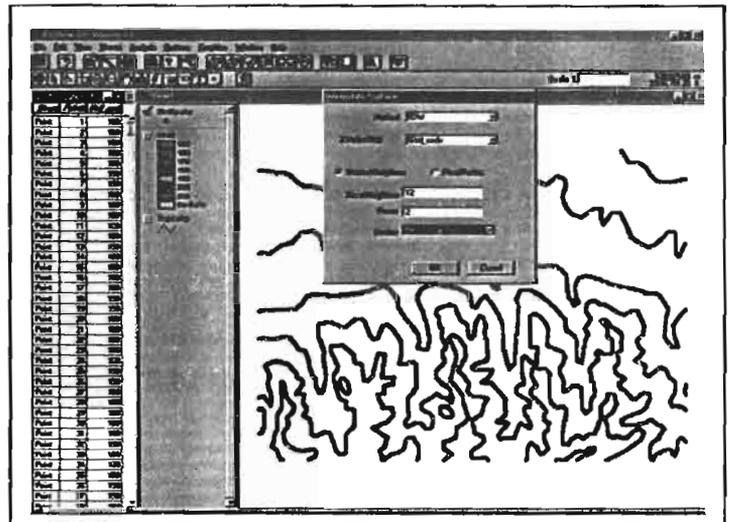
On peut alors lancer l'interpolation sur le fichier shape comprenant des points équidistants.

Figure 39 : Interpolation sur un fichier shape de points équidistants



On entre alors les paramètres de la grille de sortie (résolution à 5 mètres, etc.)

Avant de spécifier les paramètres d'interpolation (méthodes) (Distance Inverse Pondérée, champs prenant les valeurs Z, méthode de ré-échantillonnage du plus proches voisins avec 12 voisins considérés et une pondération de 2 sur la distance inversée)



On obtient alors le résultat ci-contre

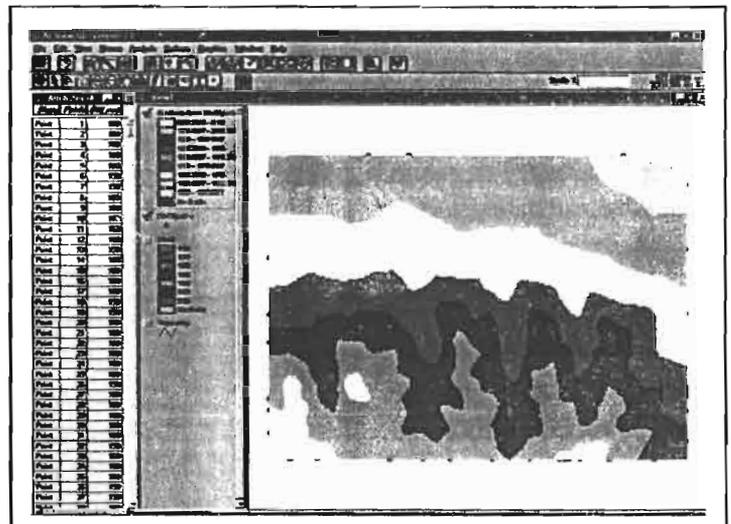
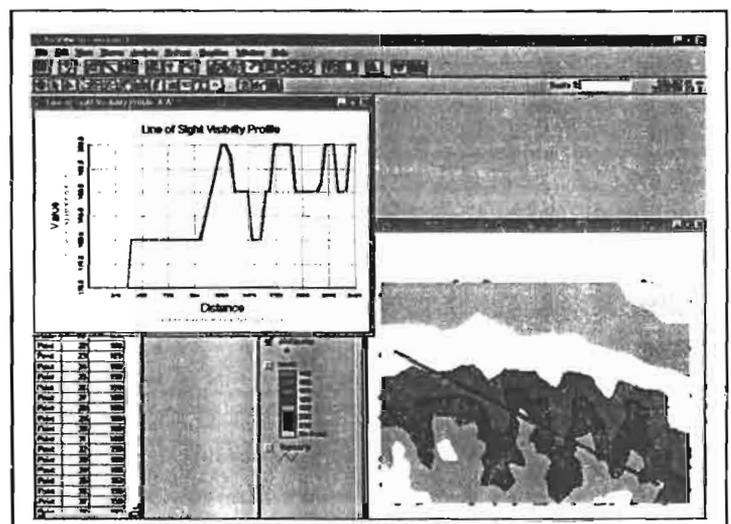


Figure 40 : Vérification du MNT généré sous Spatial Analyst à l'aide de profil en long (extension Visibility tools)

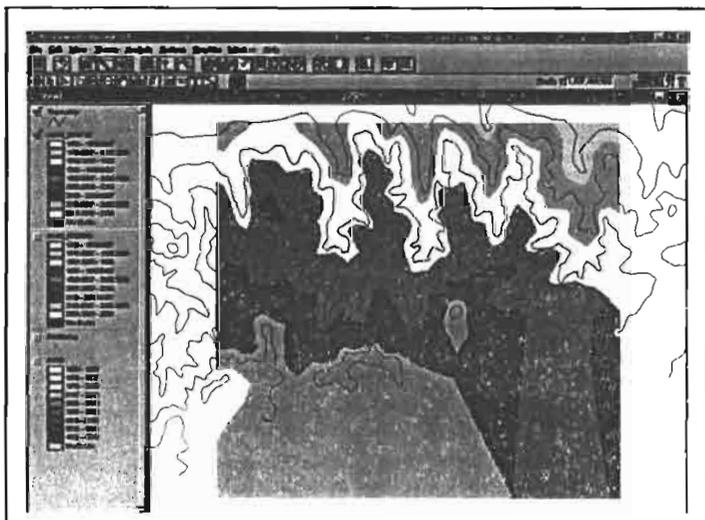
Une fois l'extension chargée, on active le bouton représentant des lunettes près des jumelles. Une fois la ligne tracée, les valeurs altitudinales de la coupe apparaissent automatiquement dans une nouvelle vue. On observe des niveaux en escalier ce qui laisse présager d'une mauvaise méthode d'interpolation !



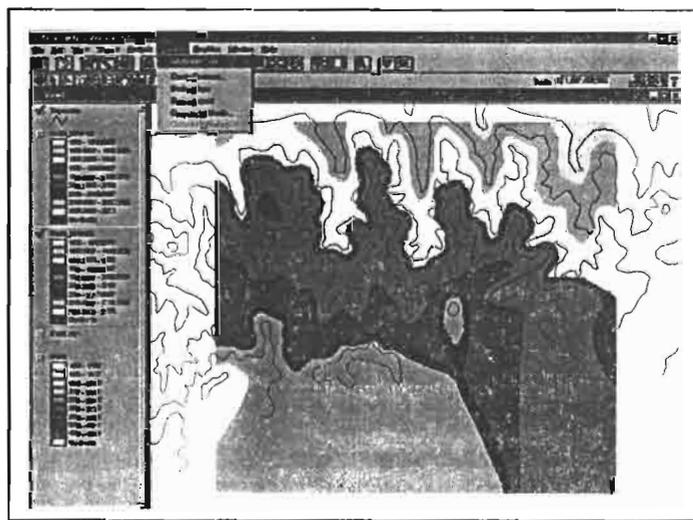
Nous avons par conséquent joué sur les paramètres d'interpolation (méthodes splines, ré-échantillonnage selon les plus proches voisins et nombre de voisins, fixed radius, etc.).

Figure 41 : Tests de l'effet nombre de voisins dans la méthode d'interpolation de distance inverse pondérée (Spatial Analyst)

Les autres paramètres sont les mêmes pour les deux MNTs.



12 voisins

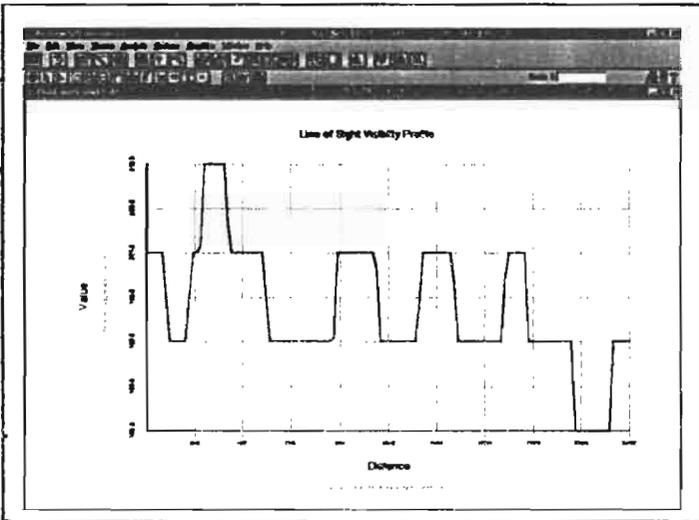


36 voisins

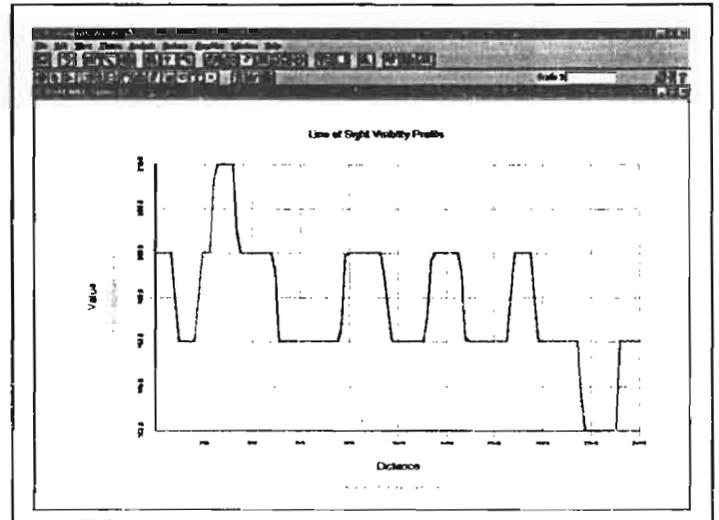
Nous développerons plus en détail ces aspects liés à l'interpolation dans la partie relative à l'élaboration du MNN. Retenons que quelles que soient les méthodes utilisées aucune d'entre-elles n'étaient satisfaisantes (cf. illustrations page suivante) !

Figure 42 : Profils comparatifs (de longueur et d'orientation identique pour une résolution de MNT fixée à 5 mètres) des méthodes et paramètres d'interpolation sous Spatial Analyst

Variables testées : méthodes d'interpolation

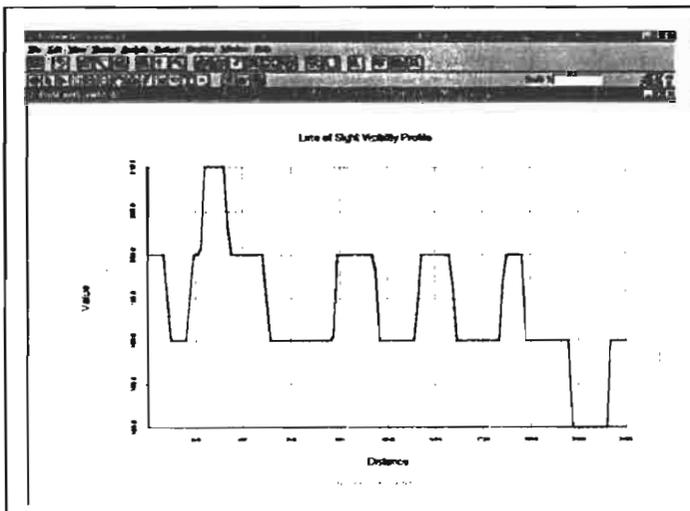


IDW

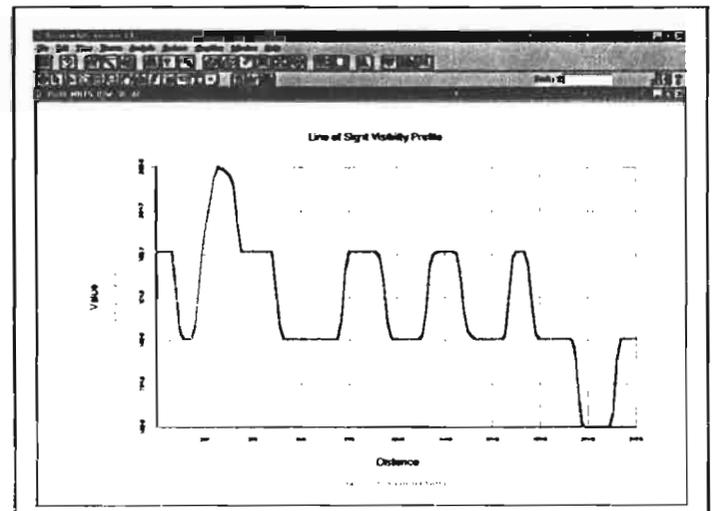


Spline

Variable testée : nombres de plus proches voisins

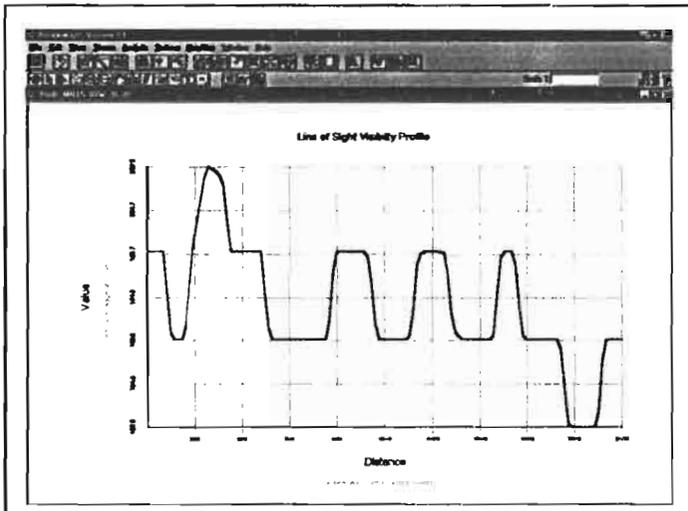


12 voisins

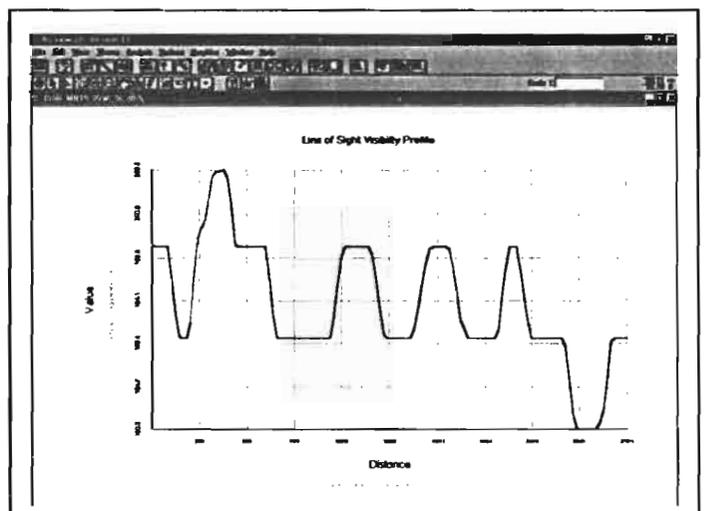


36 voisins

Variable testée : pondération de la distance



Pondération de 2



Pondération de 1/2

En définitive, quelques soient les paramètres utilisés, aucune amélioration substantielle du "MNT en terrasse" généré par l'algorithme de Spatial Analyst n'a pu être obtenue dans ce cas précis d'interpolation de points (issus de polygones). L'outil s'est avéré mal adapté pour les besoins de notre travail en ce qui concerne la génération du MNT, c'est pourquoi nous avons eu recours à un autre logiciel de SIG pour obtenir le MNT.



Figure 44 : Import du fichier "topo.shp" et enregistrement en un format vecteur Idrisi (fonction SHAPIDR)

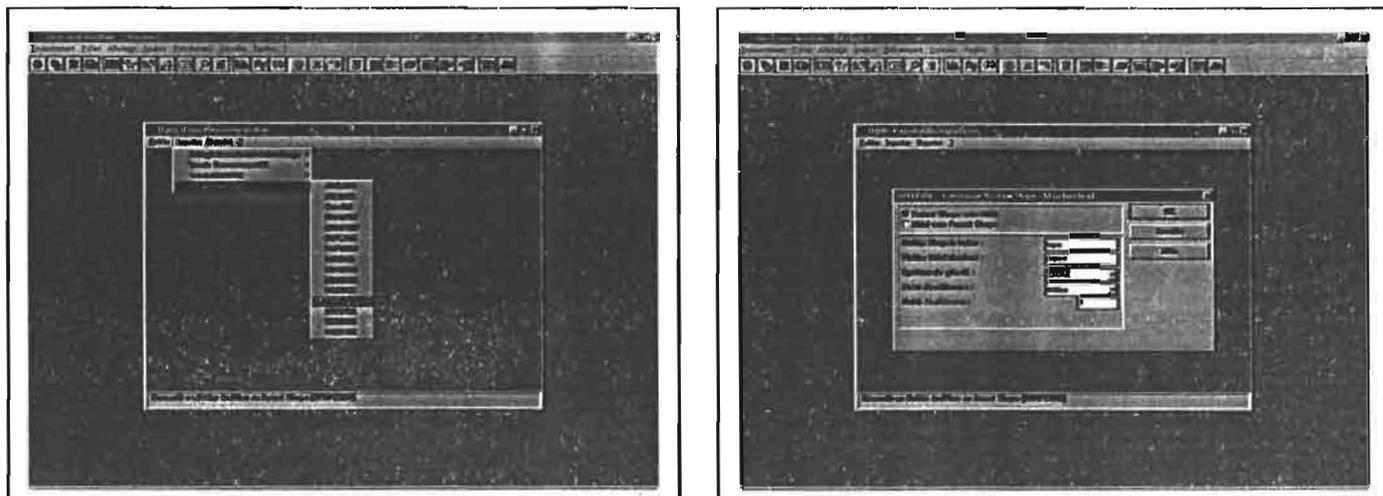
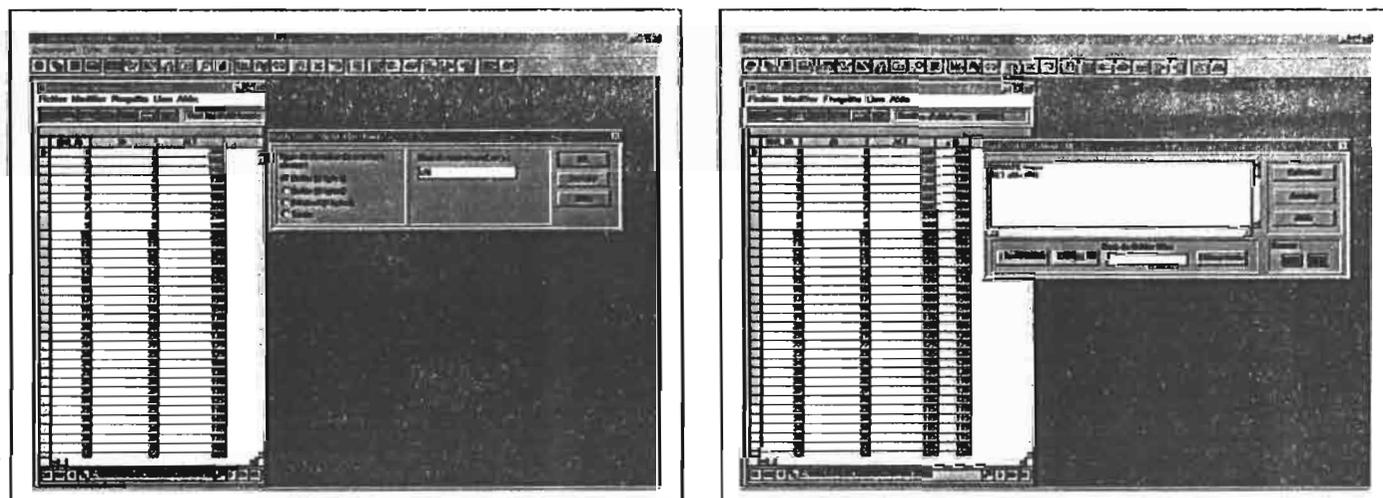


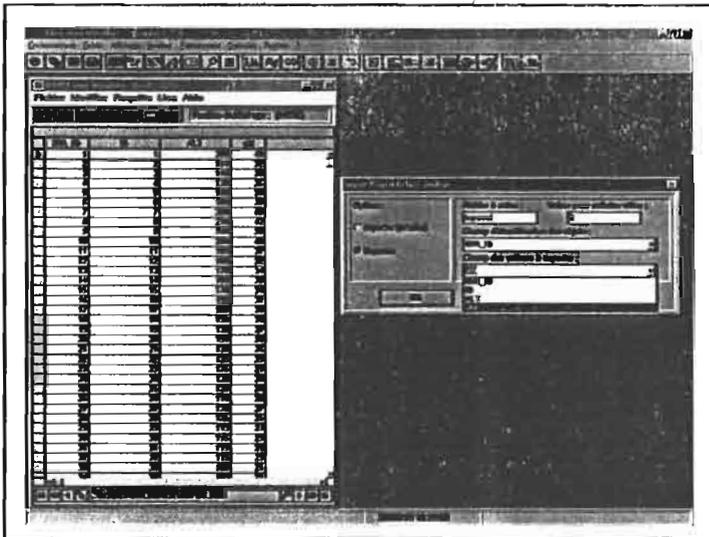
Figure 45 : Création d'un fichier attributaire à partir du fichier mdb créé automatiquement lors de l'importation

Lors de la conversion du fichier shape en fichier vecteur Idrisi (fonction SHPIDR), Idrisi crée automatiquement un fichier Access (extension mdb) que l'on peut éditer et modifier à l'aide de l'outil Database Workshop. C'est à partir de cet outil SGBD que l'on crée le fichier attributaire Idrisi (extension val).



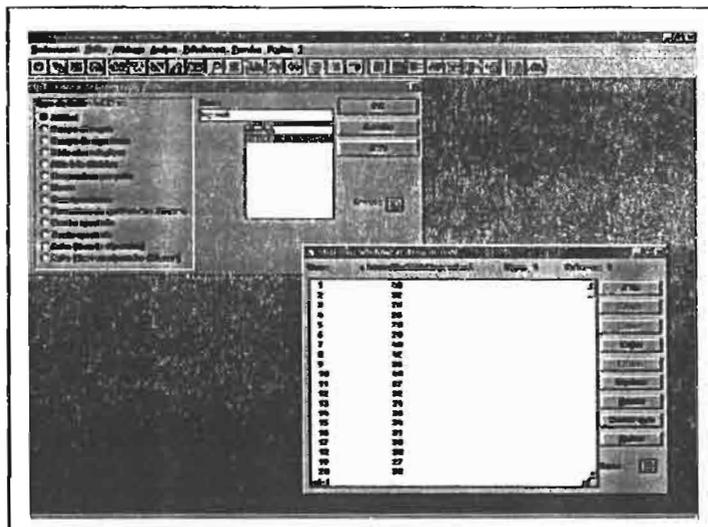
Le fichier attribut ne peut comprendre que deux champs maximum codés en entier sur 2 bytes. Or, par défaut, le fichier mdb crée les champs externes en entier long sur 4 bytes. On crée alors un nouveau champ ("alti" par exemple) que l'on spécifie préalablement en entier (2 bytes), et à l'aide d'une requête (Calcul SQL) on copie les valeurs du champ "alt". Il faut cependant s'assurer que les valeurs du nouveau champ "alti" sur lesquelles nous effectuerons l'interpolation soient comprises entre 0 et 255, car la fonction INTERCON (algorithme d'interpolation) s'opère sur des octets. Or, l'altitude maximale de notre zone est de 450 alors que

l'altitude minimale est de 100 mètres. Il est donc nécessaire de réduire cet intervalle. Pour ce faire, toutes les valeurs du champ "alti" ont été divisées par cinq pour obtenir des altitudes en nombres entiers<sup>62</sup>. On obtient alors la base de donnée suivante :



On spécifie alors les deux champs du fichier de valeur avant de sauvegarder.

Figure 46 : Vérification du fichier attributaire à l'aide de l'éditeur de texte d'Idrisi

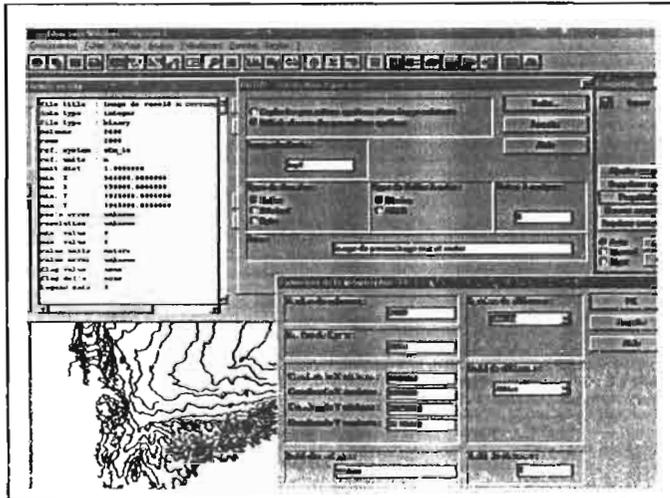


Un autre moyen de vérifier le fichier de valeur est de l'appliquer à la couche vecteur "topov" précédemment importée en choisissant une palette de couleur adaptée (dans la propriété du composeur – cf. figure 48).

<sup>62</sup> Sinon, Idrisi effectue un arrondi automatique mais de façon plus ou moins aléatoire !

Figure 47 : Création d'une image destinée à recevoir le résultat de la rasterisation du fichier vecteur

Elle s'effectue à l'aide de la fonction LINERAS. Mais auparavant, il est nécessaire de créer une image qui va recevoir le résultat de la rasterisation des lignes. On utilise pour cela la commande INITIAL où l'on y spécifie diverses informations :

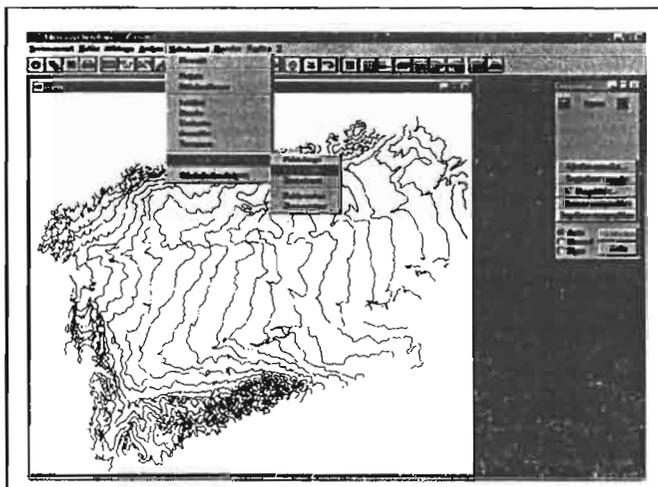


Le nombre de colonnes, de lignes (soit la taille de l'image) et les coordonnées X, Y min et max donneront la résolution de l'image, et son unité de référencement.

Nous avons volontairement fixé la résolution du MNT à 10 mètres (bon compromis entre taille de l'image, la précision souhaitée pour notre travail et le temps de traitement lors de l'interpolation).

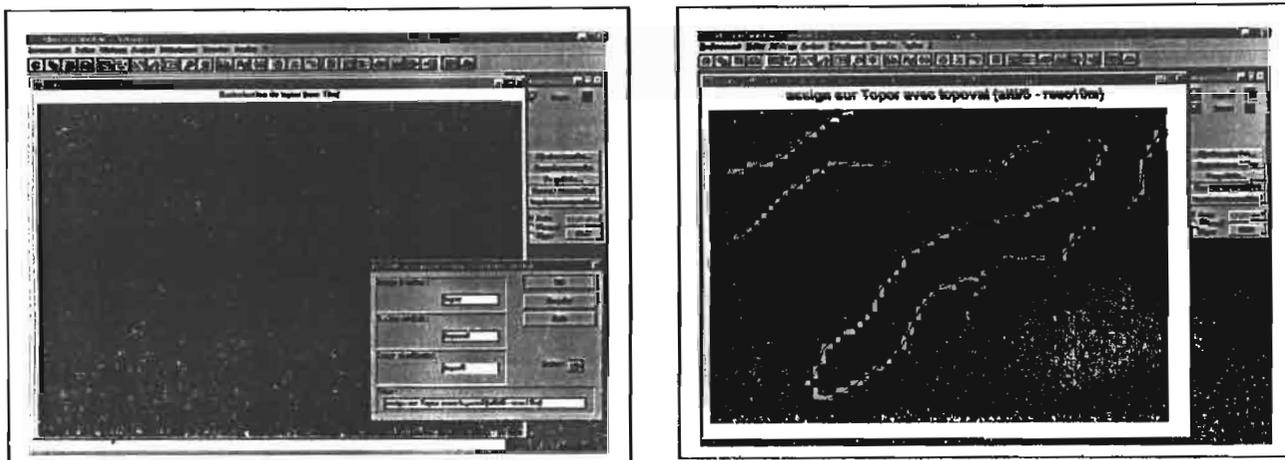
Figure 48 : Rasterisation du fichier vecteur (fonction LINERAS)

On peut alors lancer la fonction LINERAS, comme suit.



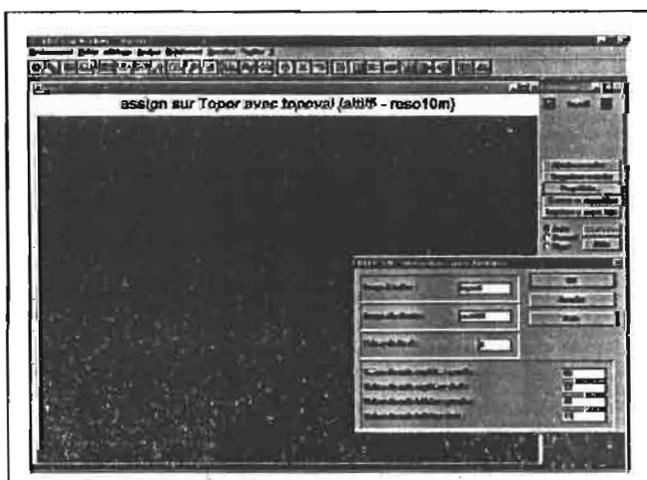
NB : Nous avons attribué le fichier de valeur au fichier topov pour vérifier le fichier attributaire relatif aux altitudes.

Figure 49 : Assignment des valeurs d'altitudes au pixel de l'image (fonction ASSIGN)



En superposant la couche topo vecteur à l'image rasterisée en zoomant sur les zones où les courbes de niveau sont rapprochées, on s'aperçoit des limites de la précision à la conversion vecteur → raster qui est également fonction de la résolution de l'image de départ. Etant donné le type de méthode de l'interpolation INTERCON, ces artefacts ne posent pas de problème pour l'obtention du MNT, toujours au regard de la précision de travail fixée préalablement.

Figure 50 : Interpolation des isolignes de l'image à l'aide (fonction INTERCON)



Il faut estimer, en se basant sur les courbes de niveau, l'altitude des 4 coins de la zone à interpoler.

Lors de la spécification de la valeur des coins, il faut bien entendu saisir les altitudes divisées par 5 !

Quelques précisions sur la fonction d'interpolation d'isolignes

INTERCON utilise des courbes de niveau numérisées sous forme de lignes et rasterisées à l'aide de la fonction LIGNES-IMAGE (ou LINERAS). Les courbes de niveau doivent être "raccordées" aux limites de la carte. Pour cela, il est préférable de numériser les courbes de niveau un peu au-delà des limites de la région d'étude. Durant la conversion vecteur-raster, LIGNES-IMAGE ne considérera que les segments de lignes à l'intérieur des limites de l'image.

Cette technique d'interpolation nécessite 6 passages sur les données, ce qui peut prendre un certain temps selon la taille de l'image à traiter (24 heures environ pour le MNT que nous avons créé).

Une fois l'interpolation terminée, il est fortement recommandé d'appliquer un filtre sur l'image obtenue afin d'en éliminer les irrégularités créées par l'interpolation. L'annexe 12 recense les types de filtres existants dans Idrisi et la façon dont ils agissent sur les images.

Dans notre cas, différents filtres ont été testés. S'il s'avère que le filtre passe-bas est le plus approprié pour l'image résultant de l'interpolation des courbes de niveau, aucun filtre n'a été appliqué car les différences n'étaient pas assez significatives. Le filtre n'a en effet pas corrigé de façon substantielle les petits artefacts observés dans certaines zones du MNT. Mais de toute façon, le résultat général reste très satisfaisant (comparé au MNT généré avec Spatial Analyst !) pour l'emploi que nous voulons faire du MNT.

Figure 51 : Multiplication des valeurs d'altitude affectées à chaque pixel (fonction SCALAR)

La dernière étape avant l'exportation vers ArcView consiste à multiplier toutes les valeurs de pixels par le même facteur de division que lors de la création du fichier attributaire (cf. figure 45).

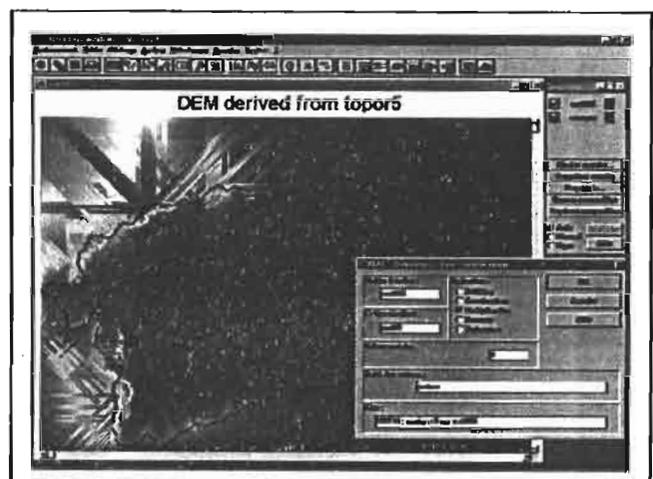
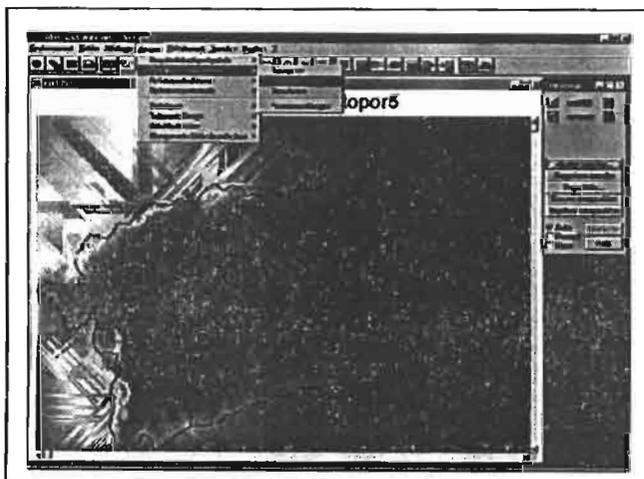
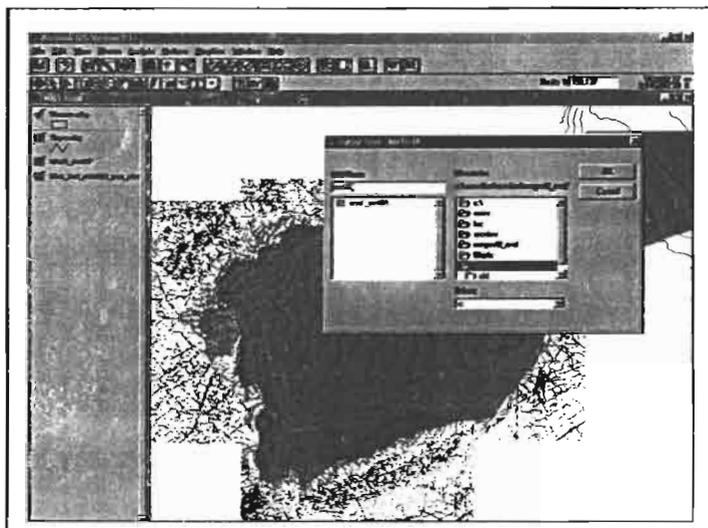




Figure 53 : Création d'un masque sous ArcView

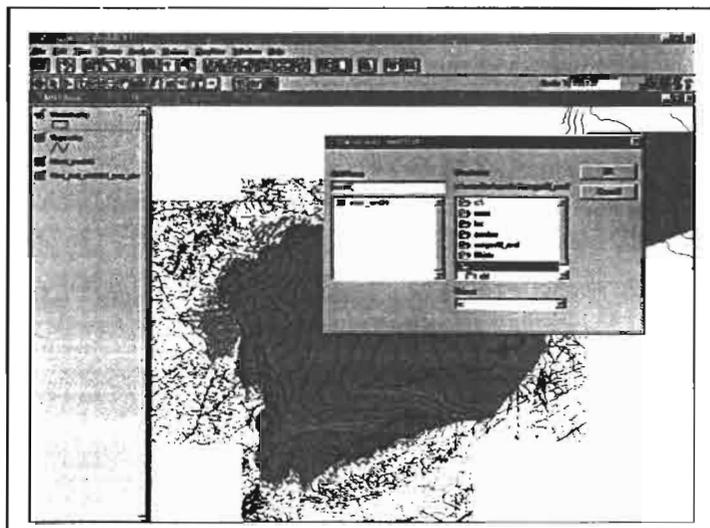
Sur l'image de la figure 9, on constate que la méthode d'interpolation d'Idrisi a créé des artefacts du fait de la non continuité des courbes de niveau (dans la mesure où nous n'avons numérisé les courbes que dans notre zone d'intérêt) dans tout le cadre d'interpolation. Le masque permet d'exclure ces erreurs.



Le chargement de l'extension Spatial Analyst permet de générer des grilles. De nouvelles rubriques (Analysis et Surface) s'ajoutent dans le menu principal.

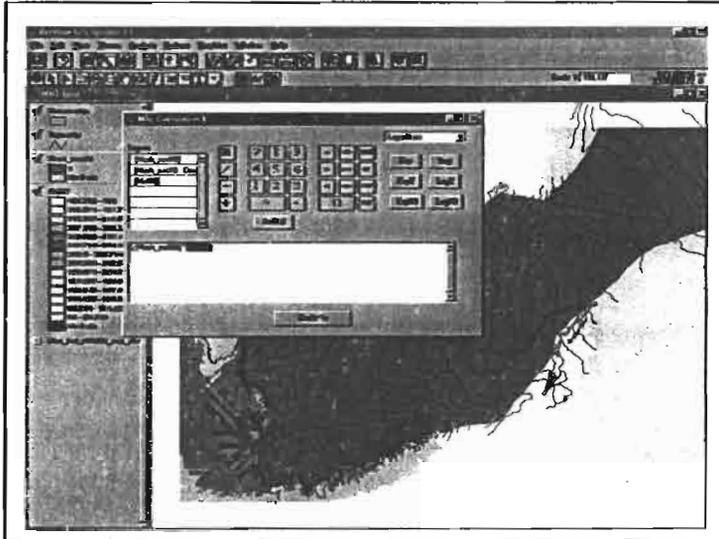
Le masque s'effectue en créant une grille ArcView binaire avec la valeur 1 pour la zone qui nous intéresse et la valeur 0 pour celle que l'on souhaite exclure.

Figure 54 : Importation du fichier "MNT.flt" sous ArcView

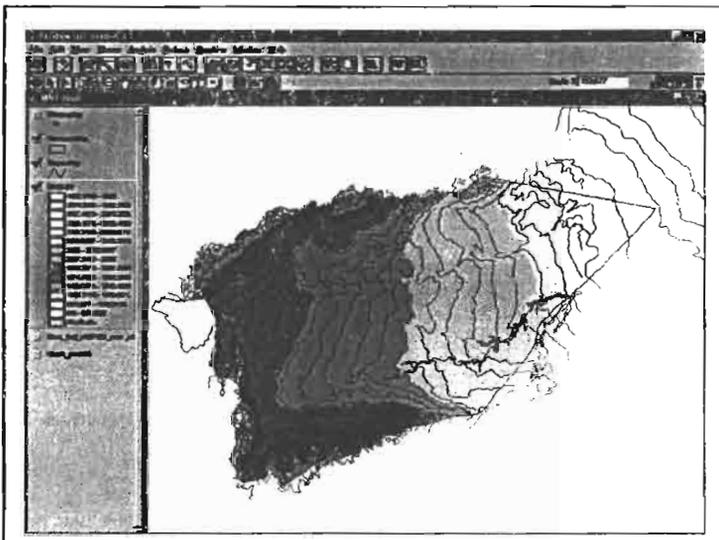


Notons que le masque a déjà été préparé avant l'importation du MNT.

Figure 55 : Application du masque sur le MNT importé (fonction Map Calculator de Spatial Analyst)



A l'aide de Map Calculator , on multiplie notre MNT original par la grille binaire...



pour obtenir le MNT final !!!

### 1. 2. 4 - Comparaisons des MNT entre Spatial Analyst et Idrisi

Si l'opération sous Idrisi est plus longue et fastidieuse, le résultat escompté est beaucoup plus satisfaisant avec la méthode d'interpolation d'Idrisi qu'avec celle de Spatial Analyst.

Nous avons auparavant comparé des profils pour juger des différentes méthodes d'interpolation applicables dans Spatial Analyst. On a d'ailleurs pu constater qu'en jouant sur maints paramètres la "topographie" en escalier n'en était que très faiblement atténuée. Ceci pour deux raisons principales :

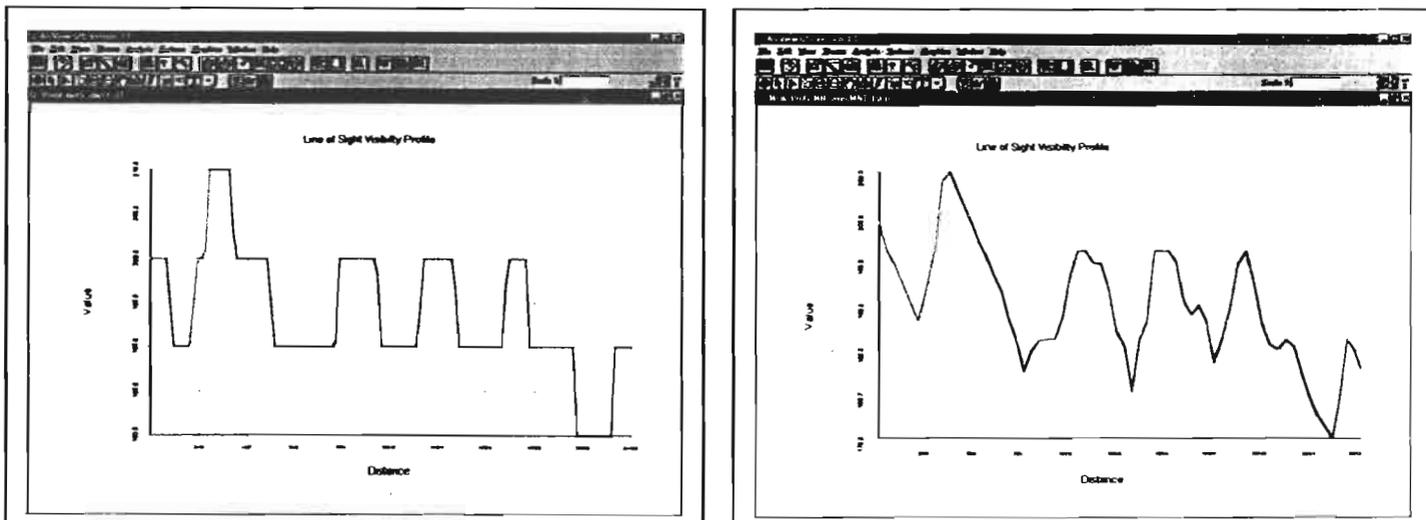
- L'algorithme Spatial est mal adapté à ce genre d'exercice;
- La structure de données en densité de points ne permet pas une bonne interpolation.

L'algorithme d'interpolation de Spatial Analyst ne s'effectue que sur des points qui dérivent de courbes de niveau. En fait, que l'on considère la distance inverse pondérée ou la méthode Spline, le problème réside surtout dans le voisinage. Ces points sont en effet très rapprochés même si l'on fixe une résolution de sortie large. Par conséquent, un grand nombre de proche voisins ne suffira pas car l'interpolation considère surtout les mêmes valeurs altitudinales. Ce phénomène est d'autant plus accentué que le dénivelé de la plaine est faible (grandes distances entre les courbes de niveau).

A l'inverse, la méthode d'interpolation INTERCON (Idrisi) tient compte justement d'un voisinage beaucoup plus lâche en considérant les plus proches voisins selon six directions fixes autour de chaque pixels (angles de 60 degrés). La pondération sur la distance en est que meilleure (grande variabilité sur la distance). C'est pour cela d'ailleurs qu'INTERCON s'effectue dans un cadre délimité (cf. supra).

Notre propos ne peut qu'être étayé par les illustrations ci-dessous où l'on a considéré bien entendu la même portion de territoire !

Figure 56 : Comparaison de profils sur le MNT Spatial Analyst et le MNT Idrisi



Le résultat est éloquent et beaucoup plus proche de la réalité pour Idrisi !

En définitive, nous ne pouvons nous contenter du MNT Spatial Analyst car un des intérêts principal du MNT est de le confronter au MNN pour calculer des profondeurs d'exhaure. On constaterait alors des sauts brutaux de profondeur dans des zones relativement plane en surface et où le niveau de la nappe ne présente pas d'irrégularité !

Pour valider le MNT Idrisi, nous avons effectué une vérification *a posteriori* en confrontant les cotes du réseau de surveillance de la nappe (piézomètres et piézographe) données par le CRDA (certaines des cotes et coordonnées ont été vérifiées par un bureau d'étude au GPS différentiel) et celle que nous obtenions par le MNT. Nous avons obtenu le résultat suivant :

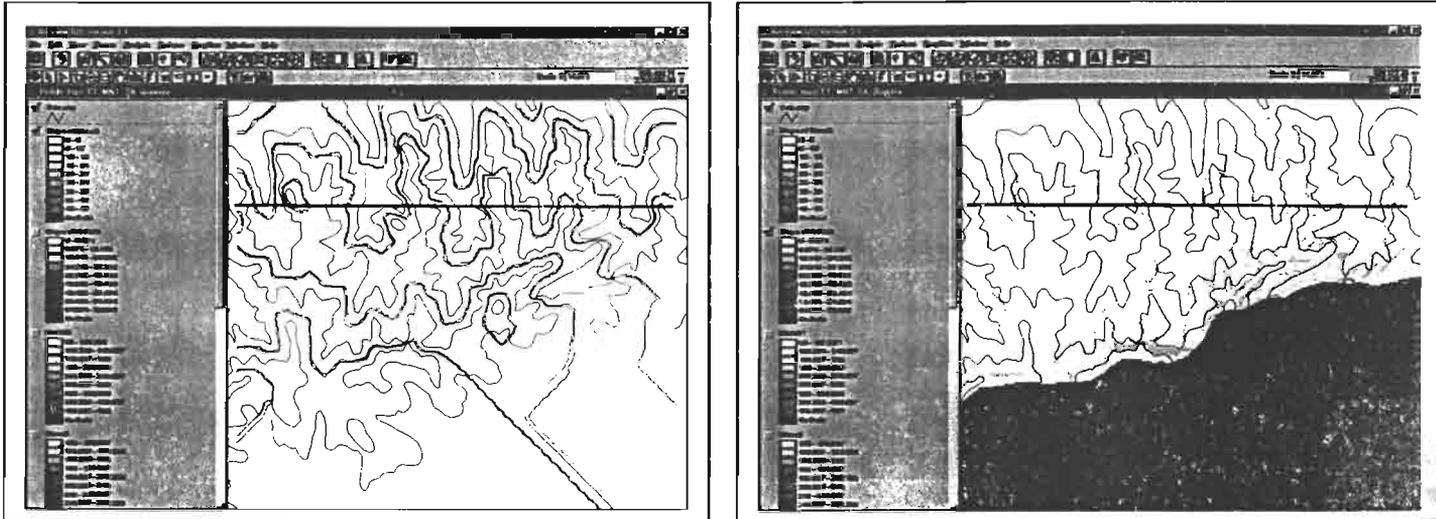
Figure 57 : Confrontation des données calculées par le MNT aux données terrain

Les piézomètres présents sur la zone d'interpolation du MNT et ayant une cote définie au CRDA sont au nombre de 26. Les résultats de la différence entre Cote\_tn (source CRDA) et Cote\_mnt figurent dans le champ Diff\_tn\_mnt et le pourcentage d'erreur dans le champ %\_err\_tn\_mnt. On estime que ces pourcentages sont suffisamment satisfaisants [entre 4,6 % et 0,002 %] pour valider le MNT sachant qu'une petite erreur d'X et Y peut en entraîner une grande en altitude particulièrement dans les zones de fortes pentes !

ID	Coordonnées	Cote_tn	Cote_mnt	Diff_tn_mnt	%_err_tn_mnt
Piez 01	...	...	...	...	...
Piez 02	...	...	...	...	...
Piez 03	...	...	...	...	...
Piez 04	...	...	...	...	...
Piez 05	...	...	...	...	...
Piez 06	...	...	...	...	...
Piez 07	...	...	...	...	...
Piez 08	...	...	...	...	...
Piez 09	...	...	...	...	...
Piez 10	...	...	...	...	...
Piez 11	...	...	...	...	...
Piez 12	...	...	...	...	...
Piez 13	...	...	...	...	...
Piez 14	...	...	...	...	...
Piez 15	...	...	...	...	...
Piez 16	...	...	...	...	...
Piez 17	...	...	...	...	...
Piez 18	...	...	...	...	...
Piez 19	...	...	...	...	...
Piez 20	...	...	...	...	...
Piez 21	...	...	...	...	...
Piez 22	...	...	...	...	...
Piez 23	...	...	...	...	...
Piez 24	...	...	...	...	...
Piez 25	...	...	...	...	...
Piez 26	...	...	...	...	...

On pourrait envisager par la suite des calculs de pente pour estimer des paramètres d'érosion en concordance avec le ruissellement superficiel.

Figure 58 : Comparaison des MNTs Spatial Analyst et Idrisi à partir des pentes (sur la même portion de territoire)



Le calcul de pente (exprimée en degrés) s'effectue par la fonction Derive Slope de Spatial Analyst !

La superposition des courbes de niveaux originelles permet de mieux comprendre la façon dont les deux logiciels procèdent. Dans Spatial Analyst, on constate que les fortes pentes se trouvent très rapprochées entre les courbes de niveau. On a généralement un "plateau" avec pour barycentre les isocourbes puis une brusque rupture topographique entre ces courbes (modèles en terrasse !). Sur le MNT créé à l'aide d'INTERCON d'Idrisi, les classes de pentes sont mieux réparties dans l'espace avec cependant des directions préférentielles dues au procédé d'interpolation d'Idrisi. Les pentes les plus importantes se trouvent à juste titre au niveau des courbes de niveau les plus rapprochées. Notons que les pixels noirs "No Data" correspondent à une zone hors ERU (cf. supra).

## **2 - Le Modèle Numérique de Nappe**

### **2.1 - Intérêt**

Il importe pour le gestionnaire comme pour les usagers de connaître les fluctuations du niveau de la nappe dans le temps sur l'ensemble de la zone d'étude. Or, le thème "piézomètre" fournit des indications ponctuelles sur ce niveau, il n'est donc pas aisé d'évaluer ces fluctuations d'un endroit à l'autre sur le bassin et sur différentes échelles de temps. C'est pourquoi nous nous proposons grâce au MNN de spatialiser le comportement chronologique de la ressource souterraine. Nous avons vu que la répartition des piézomètres n'est pas homogène dans l'espace ce qui peut affecter la précision de l'interpolation de points en supposant que les parties de la nappe en charge à un moment donnée puissent être contrôlées par quelques piézomètres. Sans quoi, la confrontation du MNN avec le MNT donnant la profondeur d'exhaure pourrait être biaisée.

### **2.2 - Réalisation**

Nous avons utilisé le logiciel ArcView et son extension Spatial Analyst pour générer le Modèle Numérique de Nappe. On considérera que ce MNN permet de générer plusieurs couches selon la période considérée.

L'idée consiste à moyenner des mesures piézométriques ponctuelles sur une période définie avant de les affecter aux piézomètres correspondant et de lancer l'interpolation sur ces valeurs attachées à un point. Nous verrons d'ailleurs dans le chapitre suivant que ces moyennes par piézomètre ont été calculées par une requête Access (cf. figure 70).

Les piézomètres étant la base du MNN, il est important que les coordonnées en X et en Y soient correctes. Dans la partie précédente, nous avons déjà abordé les méthodes et paramètres d'interpolation existants dans Spatial Analyst en fixant les limites de ses interpolations. Cependant, le fait de retenir Spatial Analyst comme outil d'interpolation de points ne pose pas problème dans le cas du MNN car les points à interpoler sont beaucoup plus dispersés sur l'ERU. Certes, il serait préférable que les piézomètres soient répartis de façon homogène sur tout l'ERU mais les résultats du MNN restent satisfaisants pour les besoins du projet.

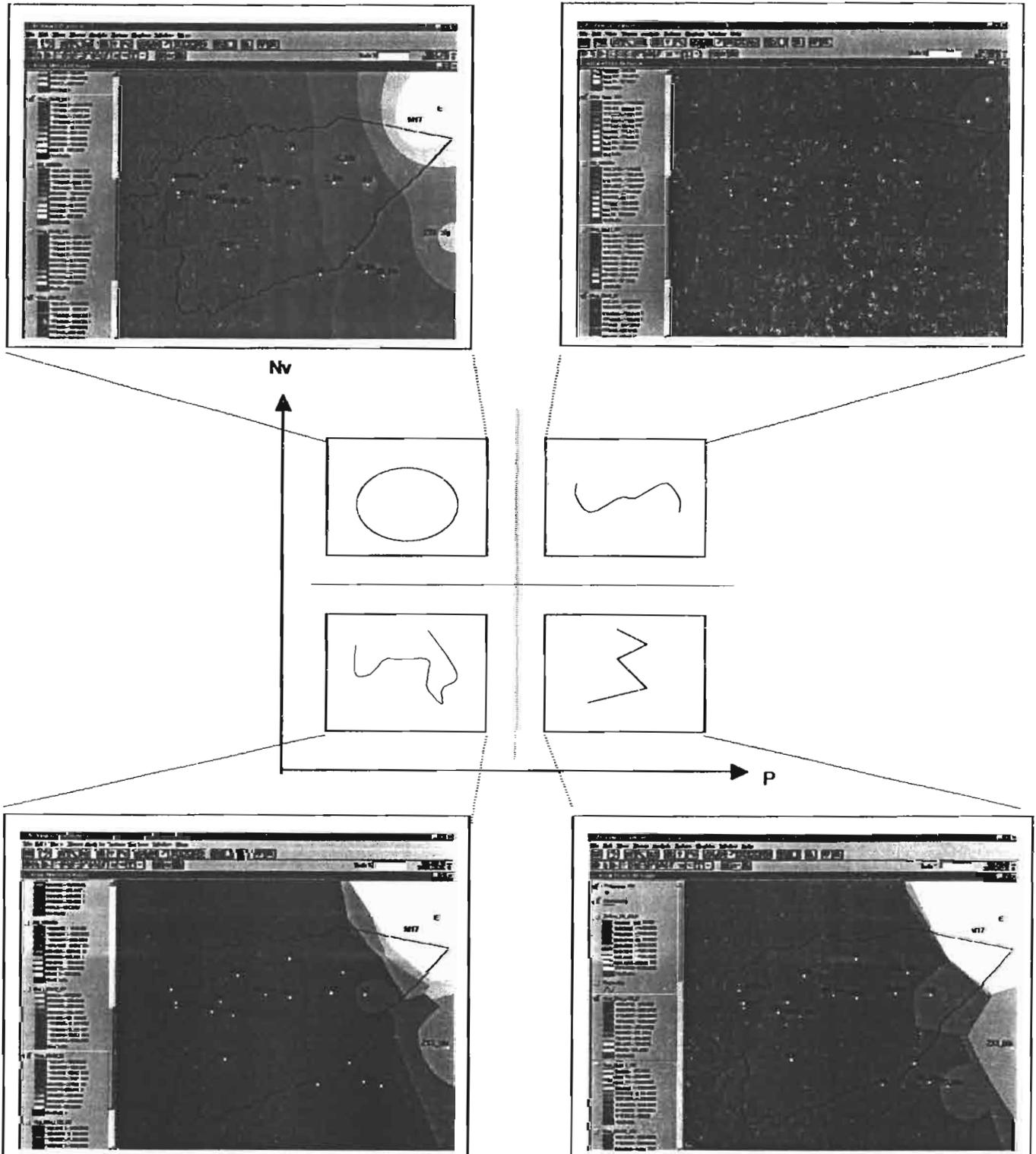
#### **2.2.1 - Méthodes d'interpolation**

Les deux méthodes d'interpolation ont été testées avant de retenir la distance inverse pondérée que nous avons alors appliquée. Nous avons ensuite joué sur les paramètres de l'interpolation IDW en considérant le mois de décembre 1998 ; mois durant lequel beaucoup de piézomètres étaient "actifs". Ce mois de décembre 1998 donc pour prendre en compte un nombre de points maximum afin d'ajuster les paramètres d'interpolation. On notera que le fait de considérer un seul mois peut être une plus grande source d'erreur. Il suffit d'une petite erreur

"ponctuelle" sur un piézomètre pour fausser les résultats du MNN. Si l'on considère une plus longue période, la moyenne atténue les erreurs !

On peut schématiser le jeu sur les deux paramètres principaux (la pondération  $P$  sur la distance : exposant; et le nombre de plus proches voisins  $N_v$ ) de l'interpolation par la Distance Inverse Pondérée de la manière suivante (notation :  $Nap\_idw\_P\_N_v$ ):

Figure 59 : Comparaison des MNNs selon divers paramètres de l'interpolation IDW (période : décembre 1998, 22 mesures piézométriques interpolées - Spatial Analyst)



Suite à ces essais successifs, nous avons retenu les paramètres d'interpolation le mieux adaptés : Méthode d'interpolation par la Distance Inverse Pondérée (IDW en anglais) sur un plus proche voisinage de 10 et une pondération de 5 sur la distance. Ces paramètres qui se rapprochent les plus de la réalité lorsqu'on spatialise les fluctuations du niveau piézométrique de l'ERU ont ensuite été appliqués sur plusieurs périodes caractéristiques, définies à partir de la réponse des piézomètres et des événements hydro-climatiques et agro-socio-économiques survenus sur l'ERU pilote.

#### *Périodes considérées*

Toutes mesures piézométriques confondues, la série commence en janvier 1966 à mars 1999 ; ce qui donne des informations sur le comportement spatial de la ressource souterraine sur une série chronologique de plus de 30 ans !

Aussi, nous avons considéré :

- L'année 1969 durant laquelle une importante crue naturelle a entraîné de grandes inondations (jusqu'à la ville de Kairouan) sur une large partie de la plaine. Une forte érosion régressive s'en est suivie ! – En plus de considérer une crue exceptionnelle, cette période permet d'évaluer le comportement de la nappe dans un contexte naturel ou "hors infrastructures hydrauliques" (les barrages Sidi Saad et El Haouareb ayant été achevés respectivement en 1981 et en 1990) ;
- La période 1970 – 1976 durant laquelle la réponse des piézomètres indique une recharge (en contexte naturel) malgré le début de l'intensification de l'irrigation (création des premiers PPI) ;
- Le mois de décembre 1998 pour connaître la situation "instantanée" de la nappe aujourd'hui ;
- Et l'année 1998 afin de spatialiser la baisse annuelle et de prévoir les tendances dans les années à venir si les autorités du ministère de l'Agriculture tunisien n'interviennent pas et si aucun événement climatique exceptionnel ne survient !

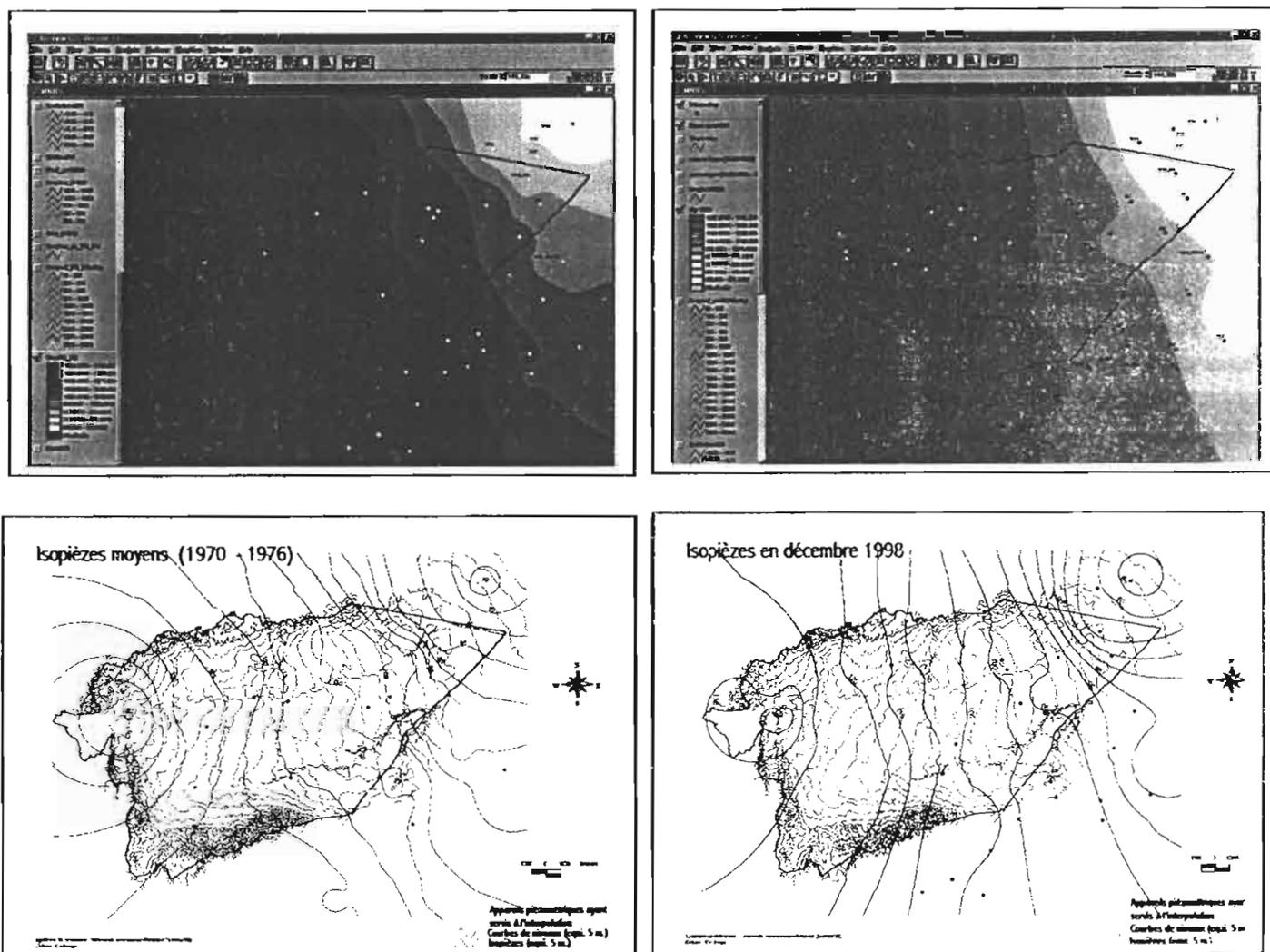
Bien sûr, nous avons arrêté des périodes qui peuvent être revues ou "décortiquées" à souhait avant de relancer une interpolation. A ce propos, une automatisation Access (d'où l'on peut facilement calculer les moyennes sur une période donnée) - ArcView est prévue pour faciliter cette manipulation !

### 2. 3 - Présentation de quelques résultats

Les piézomètres retenus pour l'interpolation figurent en jaune !

#### 2. 3. 1 - Situation piézométrique de la nappe

Figure 60 : Niveaux piézométriques sur l'ERU entre 1970 et 1976 et en décembre 1998

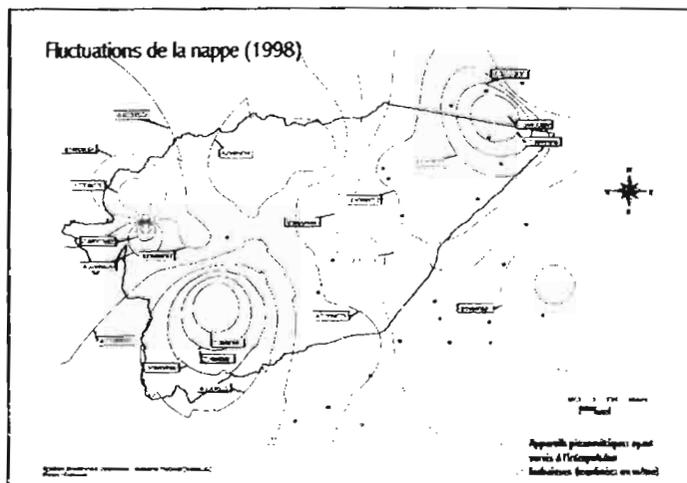


Pour tracer les isopièzes, on a au recours à la fonction "Create Contour" (où il est possible de spécifier l'équidistance et la base du contour) de Spatial Analyst.

### 2. 3. 2 - Courbes de tendance

Figure 61 : Iso-baisses de la nappe durant l'année 1998

Ces courbes d'iso-baisses de l'année 1998 ont été calculée en affectant à chaque piézomètres actifs (durant cette année) la différence du niveau piézométrique du mois de décembre – celui du mois de janvier 1998. Notons que la valeur de cette différence a été donnée en 10 000ième de millimètres, ce qui n'a pas de sens. Ceci juste pour signaler que la manipulation des champs d'un table attributaire pour un changement de format numérique (passage d'entier à réel double, arrondi) ou date (abrégée, jj/mm/aaaa, etc.), etc n'est pas toujours très aisée dans ArcView!

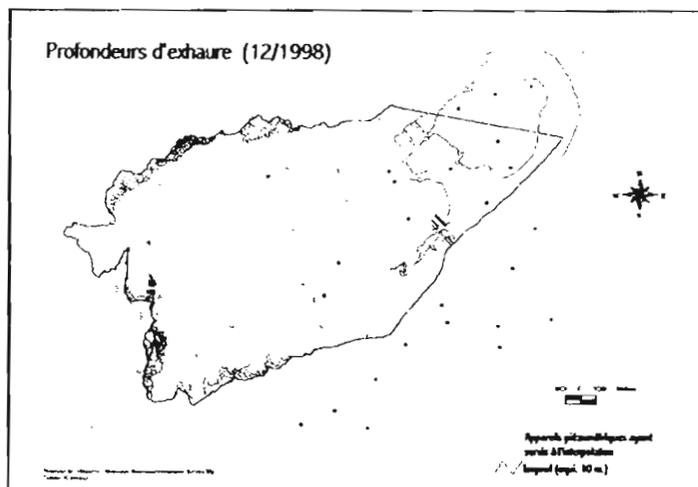
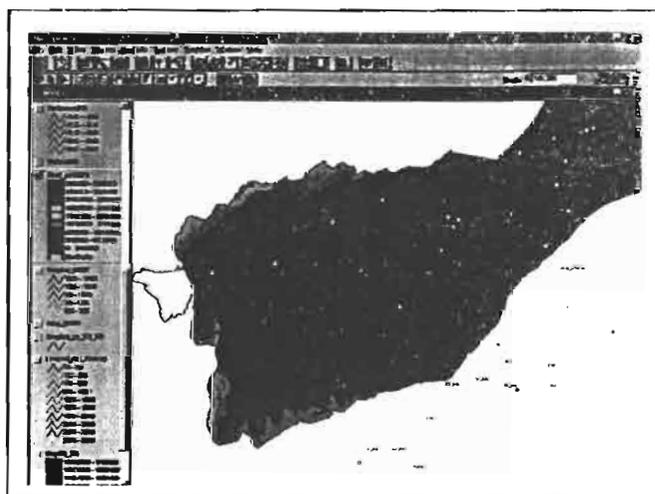


### 2. 3. 3 - Courbes de profondeurs

Le calcul des profondeurs se fait en soustrayant le MNT au MNN par la fonction Map Calculator de Spatial Analyst.

Figure 62 : Profondeurs issues de la soustraction du MNT et du MNN

On remarque qu'un masque a été appliqué automatiquement sur la zone d'intérêt lors de la confrontation du MNN12/98 avec le MNT puisque, ce dernier, on avait codé au préalable les pixels hors zone en "No Data". Par conséquent, lors de la soustraction des deux niveaux de grids, Map Calculator n'a pas considéré ces valeurs !



On peut alors en déduire des iso-profondeurs. Notons cependant, que les petits artefacts du MNT Idrisi (cf. supra) s'observent nettement en certains endroits de ces iso-courbes même si la tendance générale demeure !

### **3 - Le Modèle de Qualité des Eaux souterraines**

S'il est encore prématuré de développer le MQE pour cause d'insuffisances de données, on peut préciser que ce "thème élaboré" sera effectué selon le même principe que le MNN !

### **4 - Les consommations en eau (PI et parcelles)**

Les données destinées à générer les thèmes exprimant les consommations en eau par PI et par parcelles sont en cours de compilation. C'est pourquoi, nous ne présenterons pas les résultats. On peut dire cependant que l'on affectera pour une période donnée un code de couleur à chaque objet du thème considéré représenté cette fois si, en mode vectoriel (polygones).

### **5 - Les cultures dans les parcelles**

Il en est de même pour les données relatives aux cultures, avec toutefois une petite nuance : le thème cultures par parcelle est plus à dominante qualitative à la différence de tous les autres thèmes précédemment élaborés. Il est fort probable que l'on ait recours à un mode de représentation plus complexe alliant couleur et motif ou texture. Nous avons en effet vu qu'il est rare qu'une parcelle soit cultivée par une seule et même culture. On tiendra compte par conséquent du ratio (toujours à un moment donné) des cultures présentes dans une même parcelle (cf. chapitre IV) !

On peut imaginer une première représentation de couleur basée sur le type de culture par exemple :

- Céréaliculture en jaune ;
- Maraîchage en rouge ;
- Arboriculture en vert, etc.

Une couleur intermédiaire pourra être définie pour les associations !

Puis, un deuxième "filtre" au niveau des cultures pourrait être par exemple :

- Olivier en points d'une taille donnée rempli ;
- Amandier en points d'une autre taille vide ;
- Tomates en tirets, etc.

## **CHAPITRE IV - LA CONCEPTION DU SIRS MERGUSIE : DEVELOPPEMENT DU SGBDR**

### **I - INTRODUCTION**

La base de données constitutive du SIRS doit permettre de :

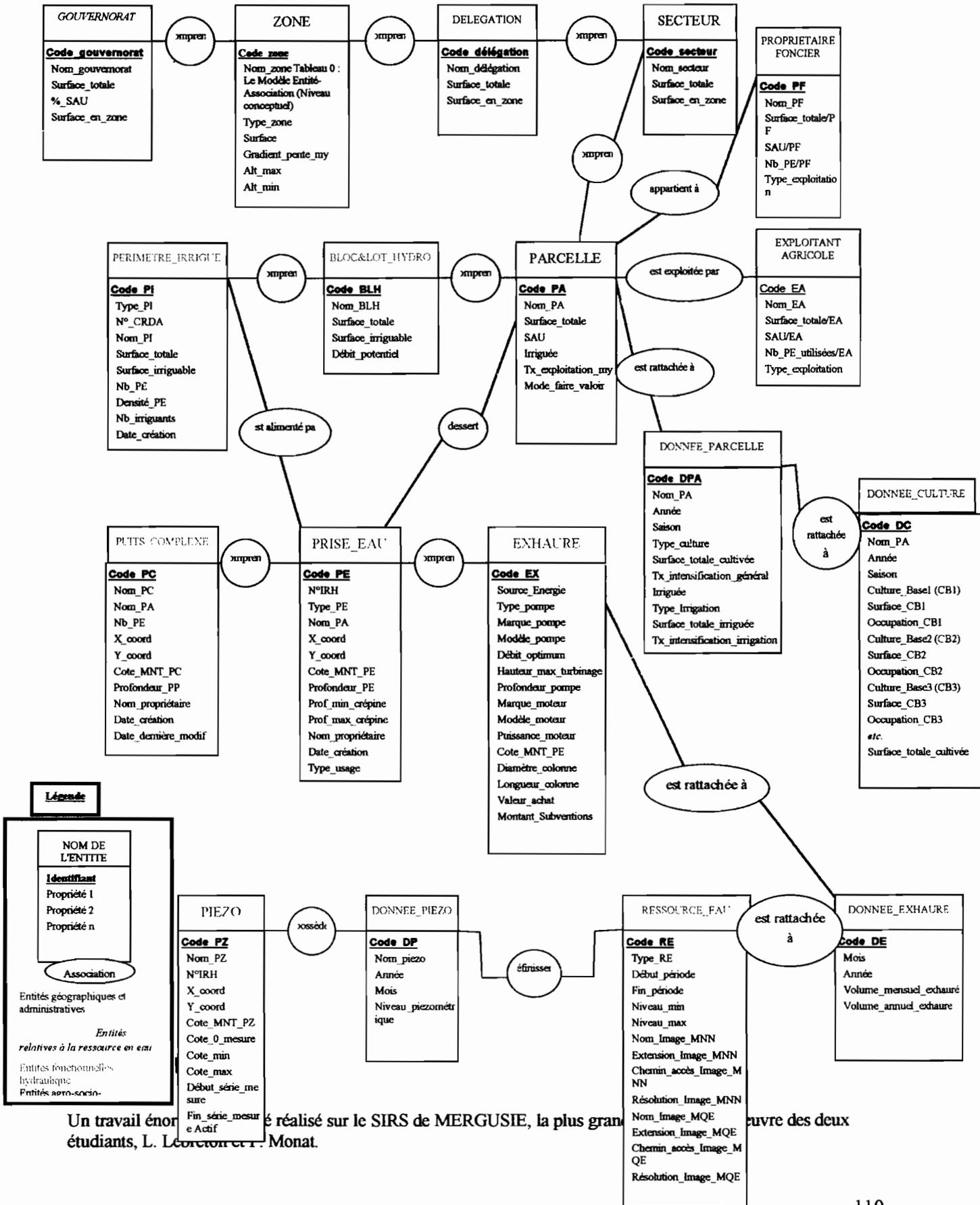
- relier toutes les informations modélisées sur l'ERU;
- faciliter la mise à jour des informations relatives à la ressource en eau et à ses usages, pratiqués dans la zone d'influence aval du barrage dans un premier temps,
- intégrer des données complémentaires : modèle hydraulique, agro-économique, pédologique, météorologique tant dans la partie aval du barrage que dans la zone amont,
- aider la décision des gestionnaires de la ressource en eau, des infrastructures hydrauliques (autorités compétentes relevant du ministère de l'Agriculture) et de tous les usagers sur l'ERU.

Nous avons également tenu compte lors de l'élaboration du Modèle Conceptuel et du Modèle Physique de Données des extensions futurs de la base hors des frontières de notre ERU pilote (prise en compte des bassins versant aval du barrage El Haouareb notamment).

### **II - CONCEPTION ET REALISATION DE LA BASE DE DONNEES**

#### **A - PRESENTATION DU MODELE CONCEPTUEL DE DONNEES**

Tableau 7 : Le Modèle Entité-Association (Niveau conceptuel)



Un travail énorme a été réalisé sur le SIRS de MERGUSIE, la plus grande œuvre des deux étudiants, L. Léonard et J. Monat.

## **1 - Quelques explications sur les entités retenues**

L'entité *Périmètre Irrigué* regroupe les Périmètres Publics Irrigués et les Associations d'Intérêt Collectif.

On entend par *Zone*, une entité géographique d'étude circonscrite pour les besoins du projet MERGUSIE. Une zone peut donc aussi bien désigner un bassin versant qu'un barrage ou qu'une plaine irriguée ! Elle se décline le plus souvent en trois catégories : Ressource, Usages, ou Ensemble Ressource Usages (cf. propriété *Type\_zone* de l'entité *Zone*)

L'entité *Puits\_complexe* permet de dissocier des puits simples qui seront dans ce cas considéré comme une prise d'eau. Un puits complexe comprend en fait une ou plusieurs prises d'eau (sondage à bras par exemple). La dissociation entre ces deux entités fonctionnelles hydrauliques est nécessaire pour des calculs économiques (exemple : calcul d'un coût de l'eau au mètre cube) et pour des considérations hydrauliques que nous détaillerons dans la partie suivante.

L'*Exhaure* est un terme générique permettant d'englober tous les modes de prélèvements d'eau possible sur l'ERU (presque tous "mécanisés").

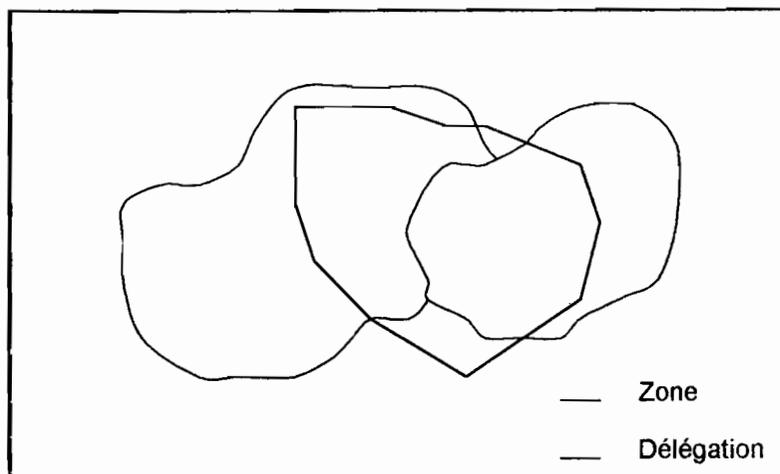
La ressource en eau est présente sur l'ERU sous diverses "formes" (cf. Introduction du chapitre II) : eau souterraine (exprimée par le MNN), eau superficielle (eau stockée dans un barrage, un lac collinaire, ou un bassin; émergence). Ces informations permettent une approche essentiellement quantitative. Mais, la qualité de cette eau destinée à l'agriculture conditionne aussi son usage. Le problème de salinité étant une préoccupation croissante des gestionnaires et des agriculteurs, nous avons choisi de l'intégrer dans la base de données à travers un MQE (Modèle de Qualité des Eaux). Notons que par la suite, il est envisagé de joindre à cette base des modèles hydrologiques (pluies/débit, de nappe, etc.), pour mieux comprendre et mieux quantifier les échanges et transport d'eau. Des connections sont également prévues avec des modèles agro-économiques (typologie des exploitations agricoles notamment).

## **2 - Méthode**

Lors de la conception du modèle entité association, nous avons dû prendre en compte la façon dont sont agencées et représentées les thèmes du SIG. Toutes les entités du Modèle Conceptuel de Données (à l'exception des entités commençant par *Donnée\_...* et de *Propriétaire\_Foncier* et *Exploitant\_Agricole*) sont visualisables sous ArcView. Ces entités caractérisent généralement les "objets" qui y sont regroupés. Elles ont le plus souvent une dimension géographique et qualitative. En revanche, les entités *Donnée\_...* comprennent des informations quantitatives et donc variables dans le temps.

Le type d'association entre ces entités est donné par une cardinalité minimale et maximale (séparées par une virgule). Ainsi, une délégation peut comprendre au minimum 1 zone et au maximum plusieurs zones (un objet parmi cette entité pourrait être notre ERU pilote en aval du barrage El Haouareb), si la délégation est chevauchante dans l'espace :

*Figure 63 : Exemple d'association de type n-n entre Zone et Délégation (MCD)*



### **2. 1 - Cardinalité maximum de n**

Il en est de même par exemple entre les entités *Secteur* et *Parcelle*, ou pour le couple *PI* et *Blocs&lot\_hydro* ou entre *Prise\_Eau* et *Exhaure*.

### **2. 2 - Cardinalité maximum de 1**

En revanche, comme nous l'avons précisé dans le chapitre III, un secteur donné ne peut être compris que dans une et une seule délégation !

### **2. 3 - Cardinalité minimum de 0**

On peut aussi rencontrer des cas de figures, où un objet d'une entité n'est pas nécessairement attaché à une autre entité. Par exemple, considéré comme étant une prise d'eau, un forage n'est contenu dans aucun puits ! En revanche, un sondage à bras, qui fait parti de la même entité *Prise\_Eau*, est par définition compris dans un puits (que l'on qualifiera à ce titre de complexe). De même, il y a très peu de chance pour qu'une parcelle jamais irriguée soit comprise dans un bloc ou un lot hydraulique.

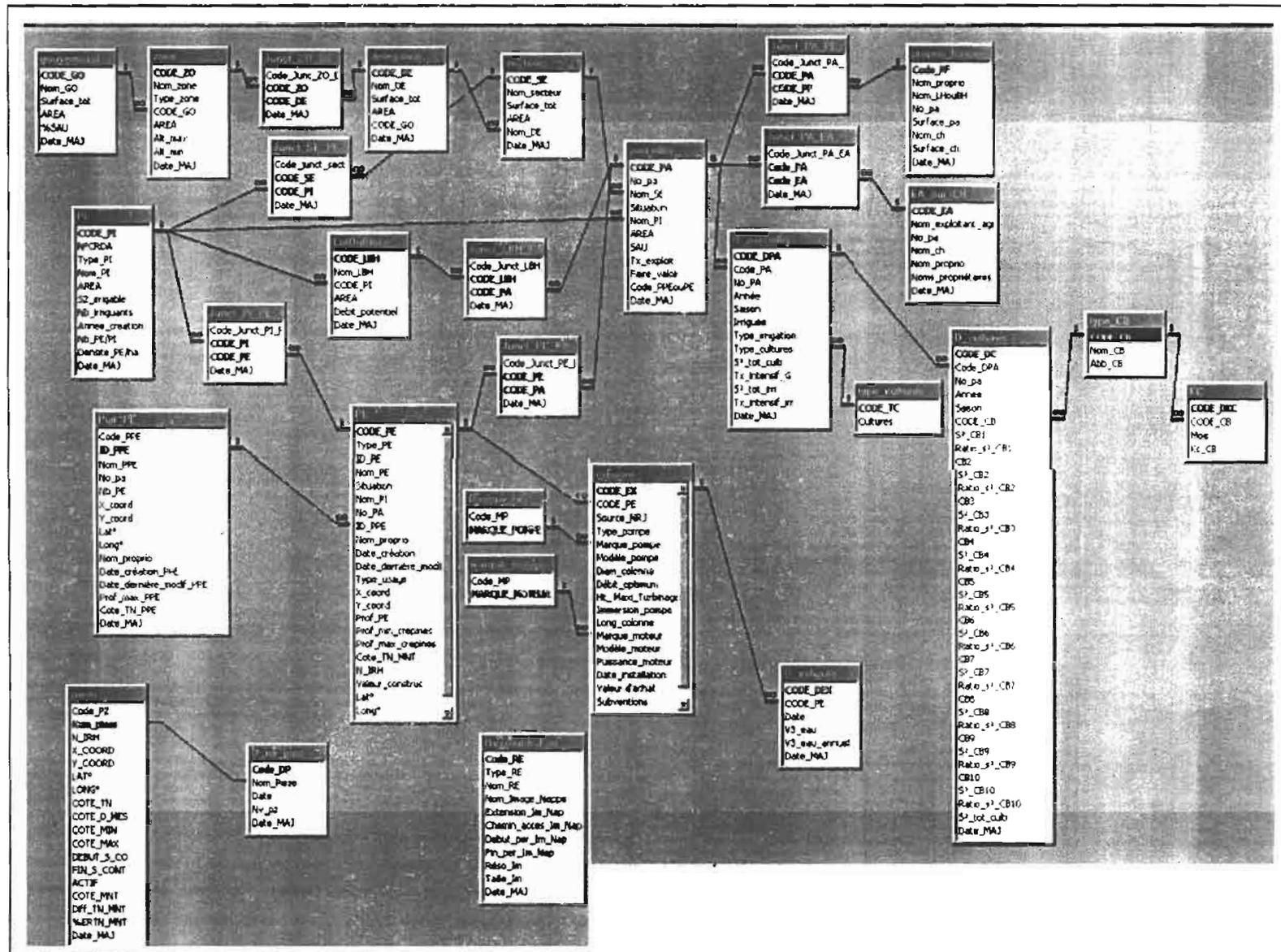
Il n'est pas toujours possible de renseigner les associations entre tous les objets des deux entités données (exemple : de *Parcelle* à *Propriétaire\_foncier*, de *Parcelle* à *Exploitant\_agricole*, de *Parcelle* à *Donnée\_parcelle*), c'est pourquoi on a dû envisager une cardinalité minimale de 0.

**B - PRESENTATION DU MODELE PHYSIQUE DE DONNEES SUR LE SGBDR ACCESS**

Nous avons expliqué les trois principales étapes d'élaboration d'une base de données. Nous ne présenterons pas le modèle logique de données puisqu'il s'apparente au MCD sauf qu'il traduit le schéma conceptuel en prenant en compte le type de système de gestion des données utilisé (SGBDR dans notre cas). Au niveau physique, le système de gestion des données est arrêté : Access a été retenu pour les raisons évoquées dans le chapitre II.

Nous présenterons le MPD tels qu'il a été dernièrement défini. Les relations entre les tables ne sont pas encore toutes arrêtées. De même, tous les champs des tables ne sont pas arrêtés. Des modifications et des ajouts seront probablement envisagés après une période d'essai au CRDA de Kairouan.

Tableau 8 : Le Modèle Physique de Données sous Access (Niveau physique) ou Relations entre les tables Access

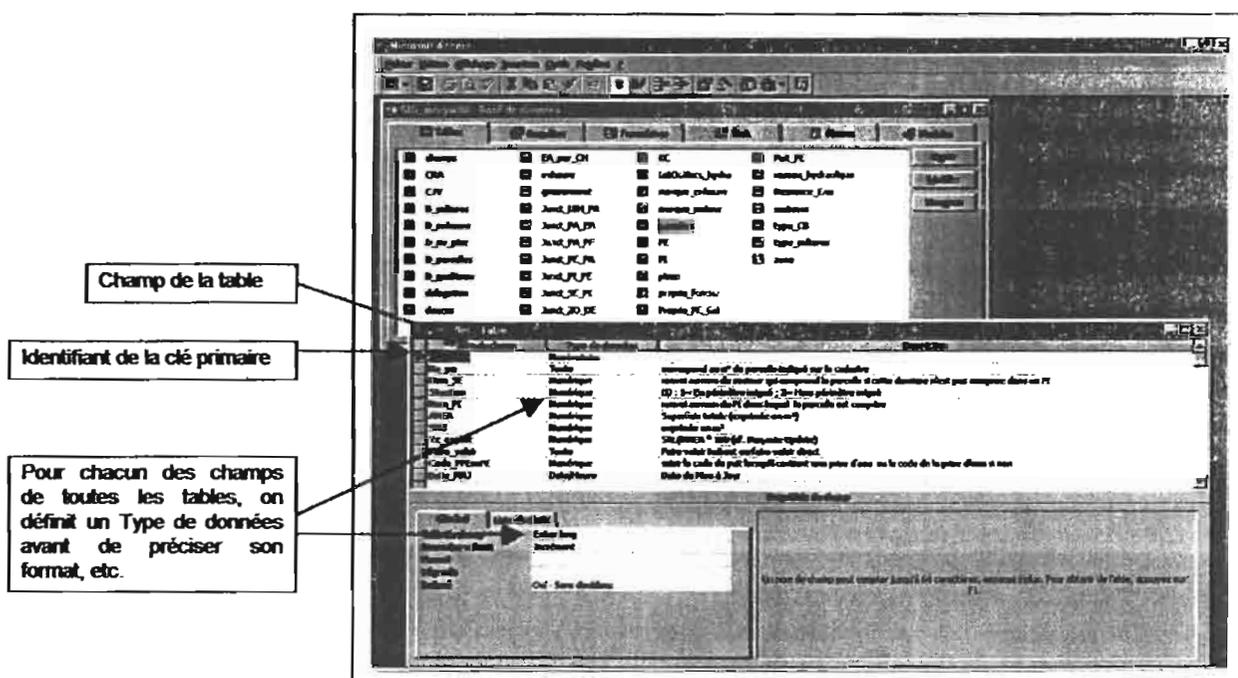


### 1 - Création des tables Access

Lors de la création de table, il est important tout d'abord de bien choisir le format et le type de clés primaires pour éviter des doublons au niveau des enregistrements ! Pour ce faire nous avons souvent eu recours à un champ en type de données codé en NuméroAuto<sup>63</sup> (selon la terminologie Access) codé en entiers longs ! Ce type de données garantit une valeur unique pour chaque enregistrement.

Certains champs sont caractéristiques d'un objet ou d'un enregistrement d'une table (exemple : N°CRDA unique pour les Périmètres irrigués, ou N°IRH pour les piézomètres), mais nous avons préféré ne pas les retenir dans la mesure où il peut arriver que l'on ne connaisse pas la valeur de ces identifiants discriminants pour tous les enregistrements d'une table. Or, il est impératif que la valeur de clé primaire pour un enregistrement donné existe.

Figure 64 : Création d'une table Access



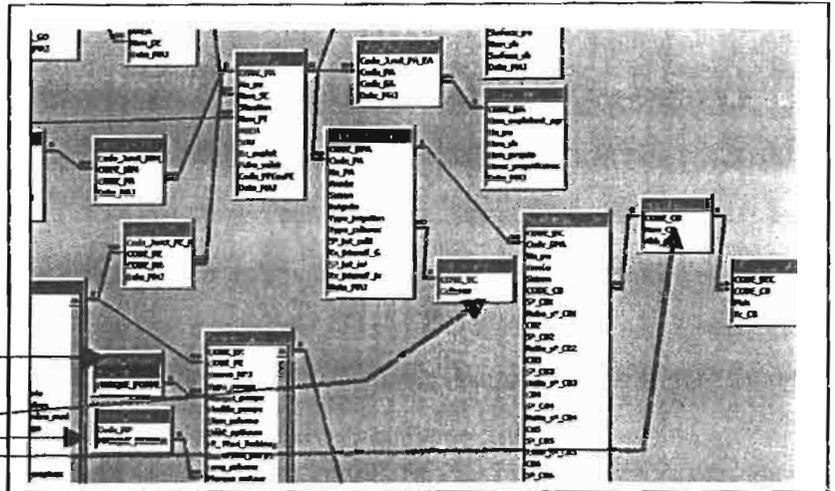
Des informations concernant le "codage" (Taille du champ selon Access) des données figurent à l'annexe 4.

Les clés primaires liées aux clés externes permettent de définir des relations entre les tables et d'appliquer ou non l'intégrité référentielle entre ces tables (cf. partie suivante).

<sup>63</sup> Cet auto incrément numérique est appelé "Séquentiel" dans Sybase.

Figure 65 : Les "tables secondaires" Access

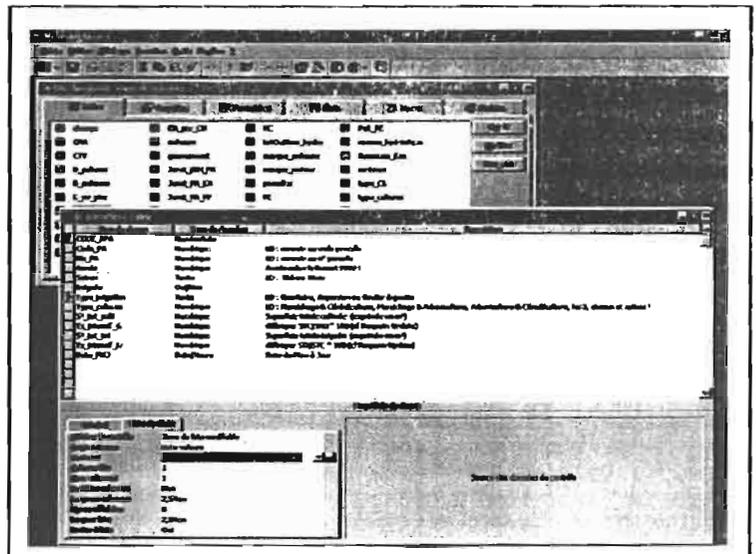
Certaines tables (secondaires) permettent d'alimenter des listes déroulantes dans des tables principales. Elles sont donc généralement plus simples. C'est par exemple le cas des tables *Marque\_Exhaure*, *Marque\_Moteur*, *Type\_Cultures*, ou *Type\_CB*.



L'intérêt des listes déroulantes est de faciliter la saisie et l'homogénéité des données en base car elle propose à l'utilisateur une liste de valeur (saisie "manuellement" ou basée sur un champ d'une table ou requête) prédéfinie.

Figure 66 : Création d'une liste de choix par saisie manuelle des valeurs

S'il est vrai que l'on peut créer des listes déroulantes (pour certaines types de données) en spécifiant les valeurs ou le Contenu de la liste, il est parfois plus judicieux de créer une table annexe pour alimenter une liste déroulante car l'actualisation des valeurs est plus aisée pour l'utilisateur.



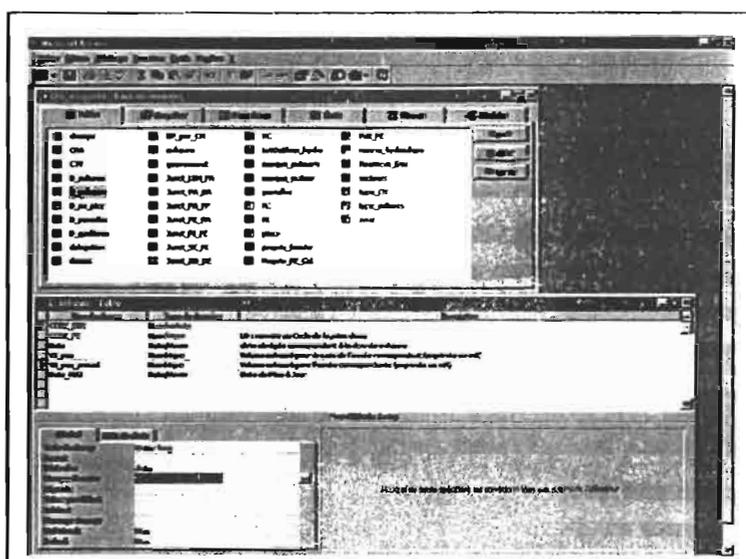
Tout dépend des modifications qui sont susceptibles d'être effectuées au niveau des valeurs de la liste déroulante. Dans l'illustration ci-dessus, la liste déroulante renseignant sur le type d'irrigation ne changera probablement pas de si tôt, alors que les marques de moteurs ou les marques de pompe sont différentes d'une région ou d'une année à une autre. De plus, il peut être utile de créer des Etats (selon la terminologie Access, cf. Annexe 5) pour les pompes et les moteurs rattachés aux prises d'eau car un travail d'étalonnage par type de pompes (débit en fonction de la consommation électrique et de la profondeur de captage) est prévu pour estimer les volumes d'eau exhaurés de la ressource souterraine.

Un autre moyen de s'assurer d'une bonne saisie en base est de créer des masques de saisie pour donner des indications sur des unités de mesures par exemple (surface exprimée en m<sup>2</sup> dans certains cas ou en ha dans d'autres, coût exprimé en Dinars Tunisiens, etc.). Ces masques garantissent des enregistrements homogènes dans les tables, mis en forme de manière personnalisée (exemple : formats Date personnalisés, nombres avec des séparateurs de milliers pour faciliter la lecture, etc.). Ces masques permettent également de fixer des bornes lors de la saisie et d'éviter ainsi d'entrer dans la base de données des valeurs aberrantes.

Figure 67 : Exemple de masque de saisie dans les tables

Dans la table relative aux données d'exhaure, on précise que les volumes d'eau annuels sont exprimés en m<sup>3</sup>/an en s'assurant que le nombre soit stocké dans la table avec des séparateurs de milliers !

Pour plus d'informations sur les masques de saisie, consulter l'aide en lignes !



On s'aperçoit sur la figure ci-dessus qu'on peut également préciser pour un champ d'autres caractéristiques : Légende pour les libellés des champs ou les formulaires, des valeurs par défaut ou des conditions de validité. On peut aussi décider du contenu du message qui s'affichera si la saisie ne respecte pas les paramètres précédemment spécifiés, etc. Notre propos n'est pas de présenter tous les masques ou les conditions en table ou tous les cas de figures utilisés, mais nous retiendrons que ces paramètres s'avèrent très utiles lors de notamment des saisies en formulaires.

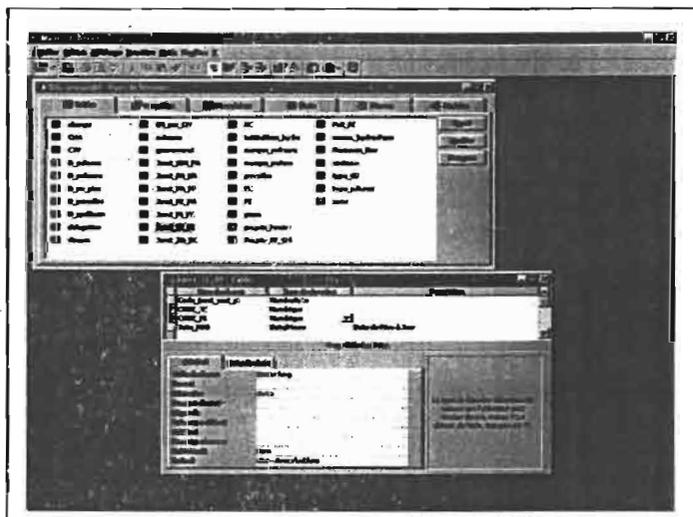
Nous avons aussi ajouté dans de nombreuses tables un champ qui ne figurait pas dans le MCD : *Date\_Maj* correspondant à la date de mise à jour de chaque enregistrement. On s'est en effet aperçu qu'il était important de connaître la date de dernière saisie ou de dernière vérification des données car celles-ci peuvent rapidement changer. Cette date est par défaut la date du jour (correspondant à celle indiquée par l'horloge du PC sur lequel se fait la saisie de données) lors de la saisie de nouveaux enregistrements dans la table.

De même, tant pour la compréhension des développeurs que des utilisateurs, on a décrit chacun des champs de table dans l'emplacement réservé à cet effet.

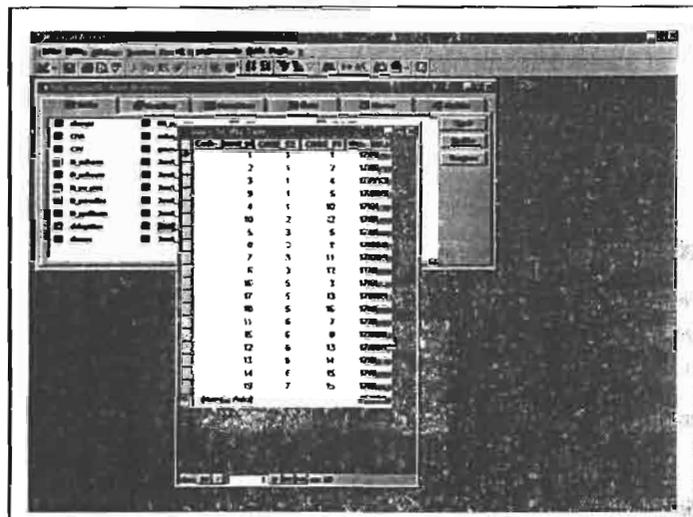
## 2 - Relation entre tables et notion d'intégrité référentielle

Dans le deuxième chapitre, nous avons présenté les rudiments d'Access et les types de relations possibles entre tables. Nous avons aussi constaté dans le MCD du SIRS MERGUSIE qu'il existait entre les entités des relations de type (n,n). Access ne pouvant créer de relation de ce type entre deux tables, il est nécessaire de créer une table intermédiaire munie d'une clé primaire double. Cette table intermédiaire est encore appelée table de jonction ou table de correspondance.

Figure 68 : Création de table de jonction



En mode création

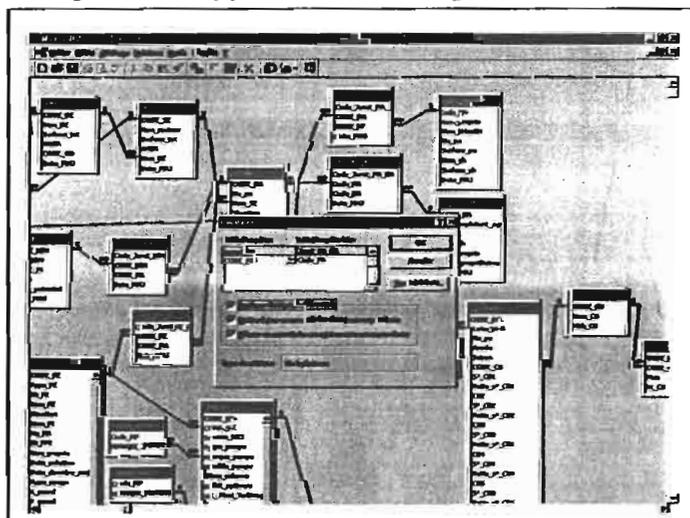


En mode feuille de données

(double-clé et indexation avec doublon possible)

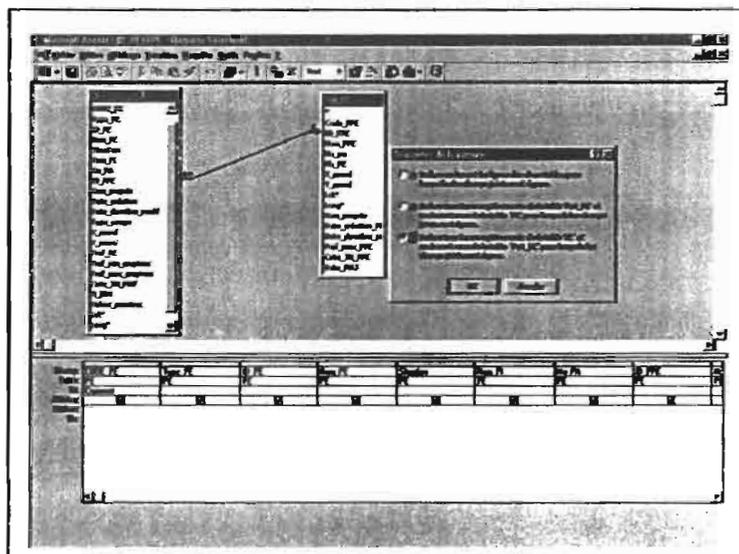
L'intégrité référentielle est un système de règles que Microsoft Access utilise pour garantir que les relations entre les enregistrements dans les tables liées sont valides et pour éviter d'effacer ou de modifier par erreur des données liées. Plusieurs conditions doivent être réunies pour pouvoir l'appliquer (cf. Aide en ligne Access).

Figure 69 : Application de l'intégrité référentielle



Il est aussi possible lors de l'application de l'intégrité référentielle de spécifier les propriétés de jointure.

*Figure 70 : Exemple de jointure externe lors de l'application de l'intégrité référentielle dans une Requête Sélection*



Quelques explications concernant les jointures figurent à l'Annexe 4

### **3 - Requêtes utilisées**

Deux types principaux de Requêtes ont été créés. Il est très probable que l'on ait besoin dans les mois à venir des requêtes Action (Ajouts, Suppression, ou Création de Table), des requêtes Analyses Croisées, mais dans l'état actuel d'avancement du SIRS, nous nous sommes contentés de deux types principaux de requêtes.

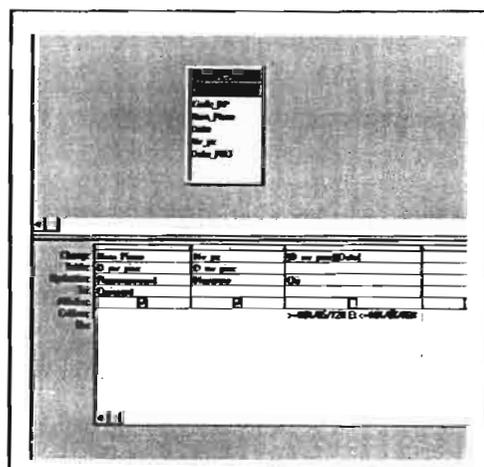
#### **3.1 - Requêtes Sélection**

La requête Sélection est le type de requête le plus courant. Elle récupère des données contenues dans une ou plusieurs tables et affiche les résultats sous la forme d'une feuille de données dans laquelle il vous est possible d'effectuer une mise à jour des enregistrements (sous réserve de quelques restrictions). Vous pouvez également utiliser une requête Sélection pour regrouper des enregistrements et effectuer une somme, un comptage, calculer une moyenne ou un autre type d'opération.

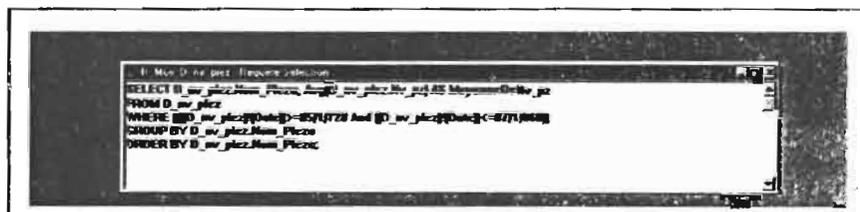
Nous ne présenterons pas toutes les requêtes constitutives de la base de données. Retenons seulement que certaines permettent d'alimenter des formulaires de saisie alors que d'autres permettent de créer de nouvelles tables. On peut alors effectuer des calculs sur des champs précis, filtrer, regrouper, etc. des informations souhaitées.

Nous présenterons certaines de ces requêtes par des exemples afin de nous familiariser avec leur fonctionnement et la façon dont elles sont créées.

Figure 71 : Exemple d'une Requête Sélection "monotable" pour calculer des moyennes piézométriques sur une période définie



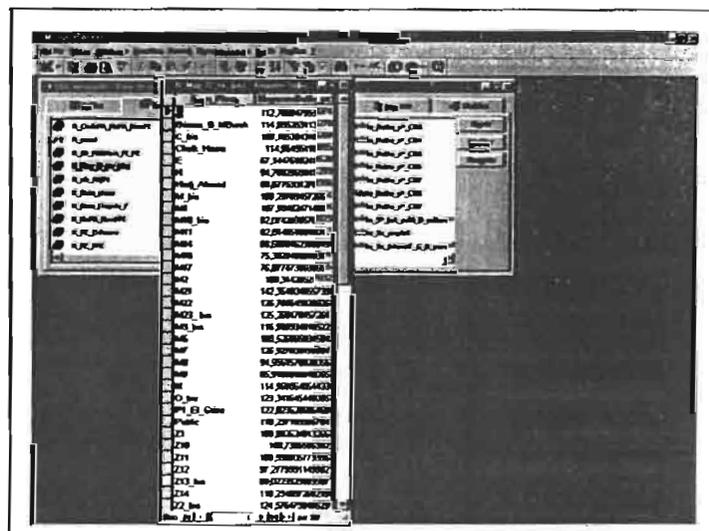
En Mode Création de Requête



ou en Mode SQL (traduction automatique)

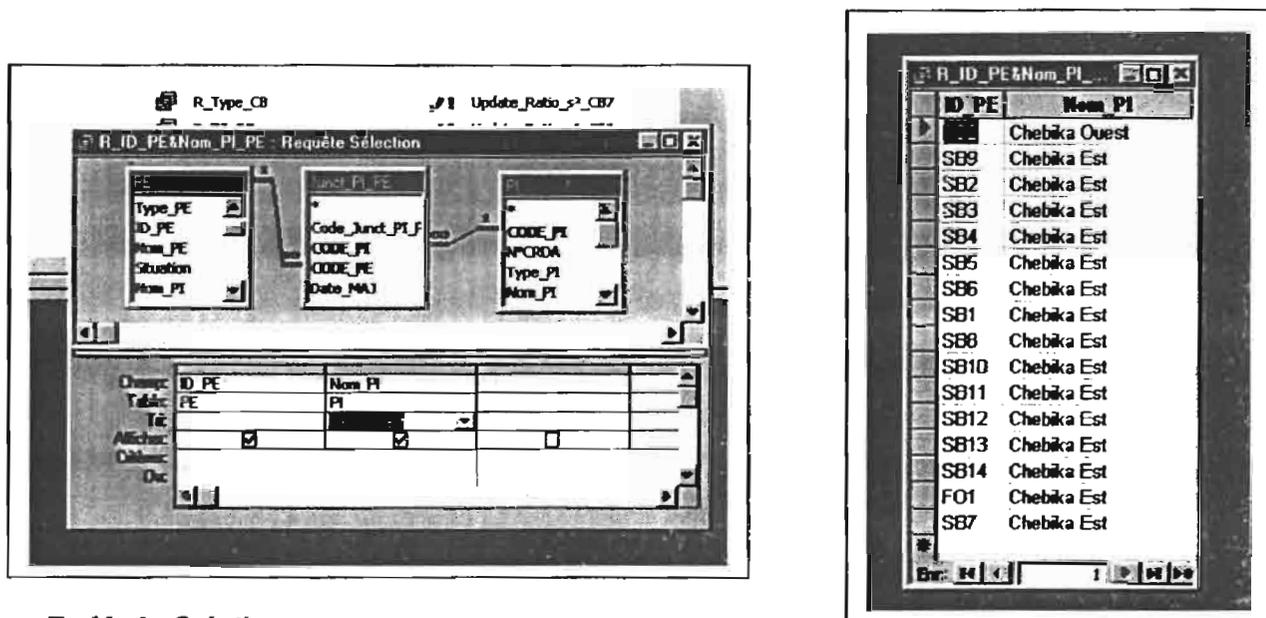
Lors de l'exécution de la requête, on obtient le résultat suivant :

Les moyennes piézométriques sur la période considérée (de mai 1972 à juillet 1986) sont regroupées par noms de piézomètres classés en ordre alphabétique croissant.



On pourra alors récupérer le résultat de cette requête par une connexion SQL ArcView pour lancer l'interpolation de points avec Spatial Analyst et obtenir une couche de niveau de nappe sur la période considérée (cf. chapitre III).

Figure 72 : Exemple de Requête Sélection "multitable"



En Mode Création

Résultat de la Requête en Mode Feuille de Données

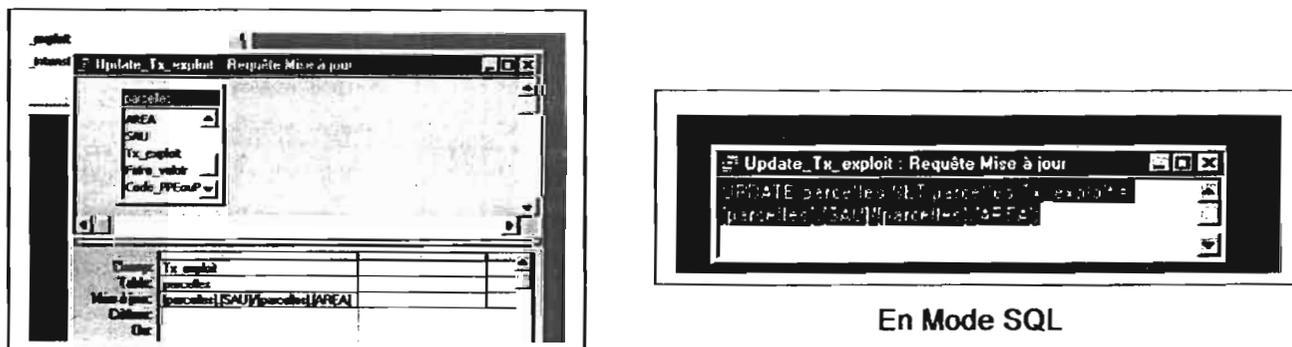
On connaît ainsi toutes les prises d'eau (par leur identifiant) comprises dans chaque Périmètre Irrigué !

### 3. 2 - Requêtes Mise à Jour

Au même titre que les Requêtes Ajout, Suppression, Création de Table, la Requête Mise à Jour est considérée selon la terminologie Access comme une Requête Action car elle est capable de modifier un grand nombre d'enregistrements en une seule opération. Elle apporte des changements globaux à un groupe d'enregistrements dans une ou plusieurs tables.

A l'aide de ces requêtes, on peut faire des calculs sur des valeurs de champs de tables et introduire ainsi les résultats de la requête à un champ de table réservé à cet effet.

Figure 73 : Exemple de Requêtes Mise à Jour pour le calcul d'un taux d'exploitation par parcelle



En Mode Création

En Mode SQL

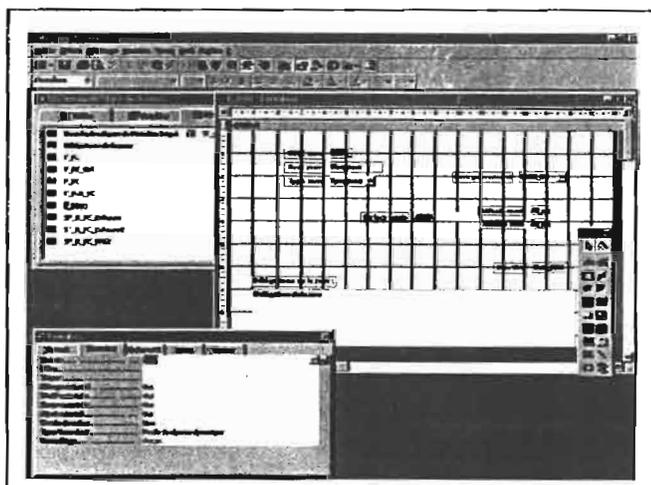
(AREA étant la superficie totale de la parcelle calculée par le SIG ArcView)

#### 4 - Création de formulaires

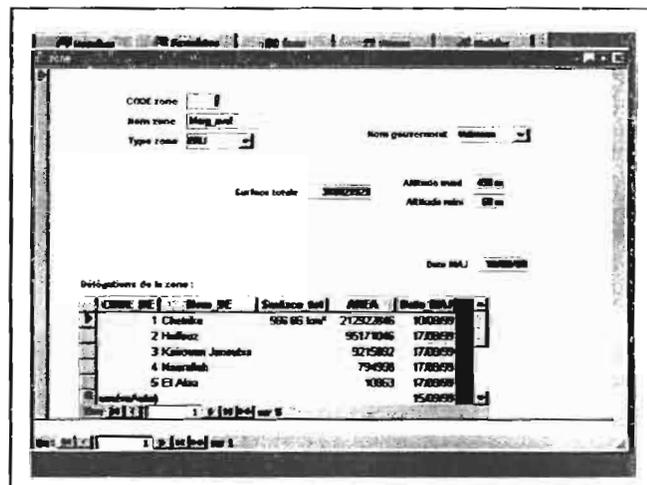
La plupart des informations contenues dans un formulaire proviennent de tables ou de requêtes. Les formulaires permettent de guider l'utilisateur de la base lorsqu'il saisit des données. La consultation des données s'effectue généralement enregistrement par enregistrement (ou ligne par ligne). En plus d'être plus ergonomiques que les tables, les formulaires limitent fortement les erreurs de saisie. Le lien entre un formulaire et sa source d'enregistrements se fait à l'aide d'objets graphiques appelés contrôles. De nombreux types de contrôles existent (zone de texte, liste déroulante, case à cocher ou groupe d'options, image ou multimédia, etc.). On peut aussi ajouter à des formulaires des sous-ensembles appelés sous-formulaires (cf. figure ci-dessous). Une combinaison formulaire principal/sous-formulaire est souvent appelée formulaire hiérarchique ou formulaire père/fils. Ces sous-formulaires sont particulièrement utiles pour afficher des données de tables ou de requêtes qui ont une relation un-à-plusieurs.

Un formulaire classique comprend généralement trois sections (En-tête, Détail, Pied de Page). Dans la mesure où les formulaires sont en cours de création, seul le Détail a été créé.

Figure 74 : Création d'un formulaire principal



En Mode Création

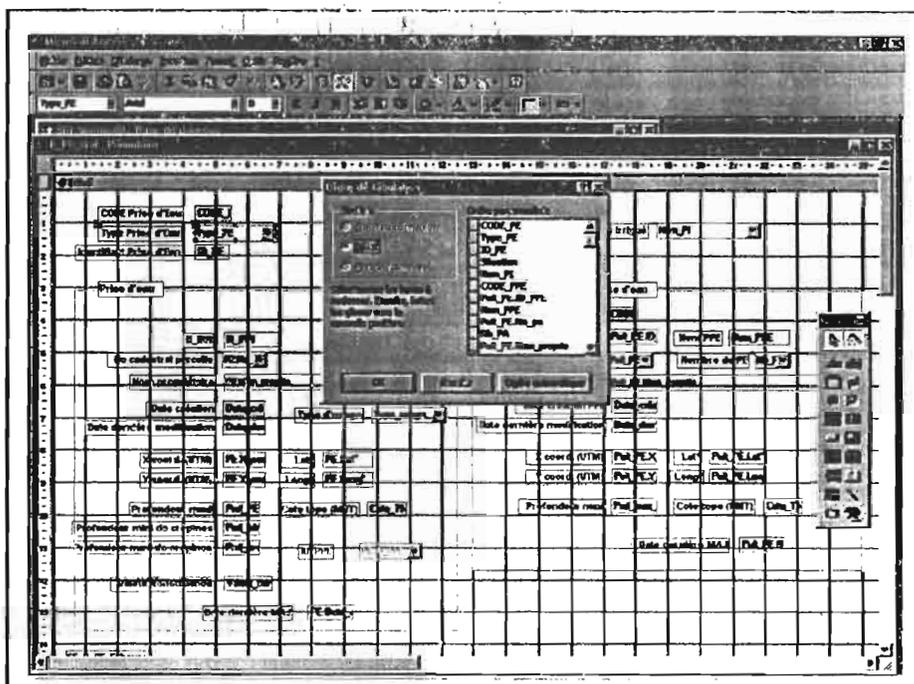


En Mode Saisie ou Consultation

Tous les champs de la table Zone sont présents dans le formulaire principal alors que le sous-formulaire comprend certains champs de la table Délégation. Bien entendu, seuls les délégués compris dans la zone Merg\_aval apparaissent dans le sous-formulaire !

Lorsque l'on base un formulaire sur une Requête, il peut être utile de changer l'ordre d'activation des champs dans le formulaire (appelé Ordre de tabulations par Access).

Figure 75 : Changement de l'ordre des tabulations dans un formulaire "complexe"



Ce changement d'ordre de tabulations est une première étape d'atteintes successives de contrôles. Mais il est souvent nécessaire de créer des macros ou des procédures événementielles en Visual Basic pour vraiment personnaliser le formulaire et faciliter ainsi la saisie dudit formulaire (verrouillage de champs, rendre visible ou non un champ sur un événement, atteindre un contrôle, copier sous condition une valeur de champ dans un autre champ sur sortie du premier champ, etc.). Un exemple de procédure événementielle pour le formulaire Prise d'eau Général de la figure ci-dessus figure à l'annexe 13.

Notre propos n'est pas de détailler toutes les macros ou procédures créées pour les formulaires. Dans la majeure partie des cas, nous avons préféré les procédures événementielles aux macros. Les procédures événementielles, généralement plus complexes, sont plus souples et plus puissantes que les macros. Ces dernières constituent en fait une partie des procédures événementielles ; elles sont présentées au "développeur" de manière plus conviviale et sont donc plus faciles à réaliser. A ce propos, il est possible de voir comment une macro a été traduite en Visual Basic dans Access, un peu comme on le faisait pour les requêtes traduites en SQL !

## BIBLIOGRAPHIE

### GEOMATIQUE (SIRS, SIG, TELEDETECTION, CARTOGRAPHIE ET GPS, ETC.)

ARNAUD M. et FLORI A. – 1996 – *Blas and precision of different sampling methods for GPS positions* ; Maison de la télédétection, CIRAD, 11 p.

AUGUST P., MICHAUD J., LABASH C., SMITH C. – 1994 – *GPS for environmental applications : accuracy and precision of locational data* ; Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 60, n°1, pp. 41 – 45

BOHNET D. – 1994 – *Implantation d'un Système d'Information Géographique dans un Organisme de Développement Régionale agricole dans le Nord de la Tunisie* ; Commissariat Régional au Développement Agricole de Bizerte, Tunisie ; Edition : Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Tunis, Février 1994, 236 p.

ESRI – 1996a – *ArcView GIS, The Geographic Information System for Everyone* ; GIS by ESRI, Using ArcView, Environmental Systems Research Institute, Inc.; 349 p.

ESRI – 1996b – *ArcView Spatial Analyst, Advanced Spatial Analysis Using Raster and Vector Data*; GIS by ESRI, Using ArcView, Environmental Systems Research Institute, 147 p.

ESRI – 1996c – *Avenue, Customization for Application Development for ArcView* ; GIS by ESRI, Using Avenue, Environmental Systems Research Institute, Inc.; 259 p.

ESRI – 1997 – *Avenue Dialog Designer* ; GIS by ESRI, Using The Avenue Dialog Designer, Environmental Systems Research Institute, Inc.; 74 p.

PANTAZIS D. et DONNAY J-P. – 1996 – *La conception de SIG, méthode et formalisme* ; Edition HERMES, Collection Géomatique, Octobre 1996, 343 p.

PORNON H. – 1998 - *SIG, pouvoir et organisations: géomatique et stratégie d'acteurs*; éditions l'Harmattan, avril 1998

PRELAZ-DROUX R. – 1995 – *Système d'information et gestion du territoire, Approche systémique et procédure de réalisation* ; Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Collection META, 156 p.

RAZAVI H. et WARWICK V. – 1997 – *ArcView Gis / Avenue, Programmer's Reference*; l'Asse Hierachy, Quick Reference and 100+ Scripts, Onwor Press, Second Edition, 524 p.

RESEARCH SYSTEM – 1997a – *IDL, Basics* ; IDL Version 5.0, March, 1997 Edition, 94 p.

RESEARCH SYSTEM – 1997b – *Using IDL* ; IDL Version 5.0, March, 1997 Edition, 344 p.

RESEARCH SYSTEM – 1997c – *What's New in IDL 5.1* ; IDL Version 5.1, March, 1998 Edition, 263 p.

## **Bibliographie**

- RESEARCH SYSTEM – 1997d – *Tutorial* ; ENVI Version 3.0, December, 1997 Edition, 369 p.
- RESEARCH SYSTEM – 1997e – *User's Guide* ; ENVI Version 3.0, December, 1997 Edition, 613 p.
- RESEARCH SYSTEM – 1997f – *Programmer's Guide* ; ENVI Version 3.0, December, 1997 Edition, 480 p.
- SIMONNEAUX V. – 1998a – *Introduction aux projections cartographiques et au GPS* ; Atelier mesures spectrométriques, ORMVAO, Ouarzazate, 21 au 25/09/98, ORSTOM, 9 p.
- SIMONNEAUX V. – 1998b – *Introduction aux corrections d'images satellitales* ; Atelier mesures spectrométriques, ORMVAO, Ouarzazate, 21 au 25/09/98, ORSTOM, 9 p.
- VIDAL A. – 1998 – *Téledétection et Systèmes d'Information Géographique en irrigation et drainage*, Guide méthodologique et applications ; Groupe de travail AFEID sur la Téledétection et les SIG; Edition ICID – CIID, 146 p.

### **BASE DE DONNEES**

- MAINE et HERZ – 1985 – *Informatique appliquée à la gestion* ; 1<sup>ère</sup> et 2<sup>ème</sup> année de BTS informatique, édition Foucher
- SIMPSON A. – 1997 – *Access 97 L'intégrale de votre SGBD*; Livre d'Or, Ed. Sybex, 1060 p.
- SOUQUES M. – 1999 – *La modélisation des données* ; Note de cours Informatique 2<sup>e</sup> année : UO Modélisation et base de données, INP ENSAT, 3 juin 1999, 39 p.

### **GESTION DE L'EAU ET INFORMATIONS SUR LA ZONE D'ETUDE**

- BEOULE A., 1996 : *Etablissement de la banque de données sur les piézomètres et les prélèvements de la plaine de Kairouan*. Mémoire de fin d'étude de technicien supérieur. Ecole Supérieure des Ingénieurs de l'Équipement Rural de Medjez el Bab, Tunisie. 41 p.
- BEN HAMOUDA N. – 1999 – *Stratégies des agriculteurs irriguants confrontés à une situation de pénurie d'eau, Cas d'un périmètre irrigué privé dans le bassin du Merguellil* – Tunisie Centrale ; Thèse présentée en vue de l'obtention du diplôme de Hautes Etudes du CIHEAM ; Master of Science – Centre International de Hautes Etudes Agronomiques Méditerranéennes, Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier, 160 p.
- CRDA – 1998 – *Inventaire des forages d'eau de la délégation*, Chebika; 4 p.
- CRDA – 1999 – *Etats des PPI* ; CRDA de Kairouan, 2 p.
- DGAT – 1995 – *Atlas du gouvernorat de Kairouan*; République tunisienne, Ministère de l'environnement et de l'aménagement du territoire, Direction Générale de l'Aménagement du Territoire, URAM, Mai 1995

FAYSSE N. – 1999 - *Les institutions de gestion de l'eau et les Associations d'Intérêt Collectif pour l'irrigation dans le gouvernorat de Kairouan*; Programme National Mobilisateur MERGUSIE, gestion intégrée du Bassin du Merguellil (Partie Gestion institutionnelle); Encadré par P. Le GOULVEN (IRD) et M.S. BACHTA (INAT), mars-avril 1998 et mars-avril 1999; 50 p.

FEUILLETTE S., LE GOULVEN P., BACHTA M. – 1998 – *Les pouvoirs législatifs, réglementaires et juridiques en Tunisie confrontés à la gestion des nappes souterraines : Cas de la nappe de Kairouan, Tunisie Centrale* ; COLLOQUE SFER : l'irrigation et la gestion collective de la ressource en eau en France et dans le monde, Montpellier, 19 et 20 novembre 1998, 12 p.

HORCHANI – 1994 - *Gestion de l'eau en Tunisie*, in Agriculture de Tunisie.

ISSAOUI R. – 1998 – *Essai d'estimation de demande des produits agricoles et agro-alimentaires (Etude de cas : Melalsa, Alalcha)* ; Projet de Fin d'Etude, cycle Ingénieur, Option : économie agro-alimentaire ; République Tunisienne Ministère de l'Agriculture ; Institut National Agronomique de Tunisie, Département d'Economie et du Développement Rural ; Encadré par M.S. BACHTA et A. LAAGIMI, 57 p.

KHANFIR R., EL ECHI M., LOUATI M., MARZOUK A., FRIGUI H., ALOUINI A., - 1998 - *EAU 21, Stratégie du secteur de l'eau en Tunisie à long terme 2030*. Ministère de l'Agriculture, République Tunisienne, mars 1998.

LE GOULVEN P., RUF T. – 1996 - *Rapport de mission en Tunisie*, ORSTOM.

LUPERCIO L., ESPINOZA M., De BIEVRE B., DECKMYN J., FEYEN J. and CISNEROS F. – 1999 – *Management information system for land register data of Irrigation schemes* ; PROMAS, Programme Para el Manejo del Agua y del Suelo, Faculty of Engineering, University of Cuenca, Ecuador ; Institute for Land and Water Management, Katholieke Universiteit Leuven, Belgium ; 20 p.

PANTU I, 1973 : *Etude hydrogéologique de la plaine de Kairouan*, Projet principal du programme tuniso-canadien de Kairouan. Kairouan. 49 p.

PEYTHIEU S. – 1998 – *Le périmètre irrigué de Chébika-Est en Tunisie Centrale* ; Rapport de stage de deuxième année d'Ecole Supérieure d'Agriculture Purpan, 21 juillet – 24 septembre 1998, 41 p.

**ANNEXES**

**ANNEXE 1 – AIC EL MELALSA**

Sources : FAYSSE, 1999

Données entre parenthèse : données prévues lors de l'étude  
N° Eureka : 14**Données techniques**

Année de mise en service	Date de légalisation de l'AIC	Nombre exploitants	Superficie prévue	Superficie actuelle	Nombre de parcelles	Débit prévu (l/s)	Débit actuel (l/s)	Débit actuel (m <sup>3</sup> /h)	Profondeur forage	Type d'énergie	Nombre de bornes	
Août 1994	Février 1990	49 (49)	100	110	40 (49)	30	30	108		électrique	49	
Point d'eau (1000DT)	Equipement (1000 DT)	Canalisation (1000DT)	Canalisation sous pression (m)	Ségnia (m)	Réservoir (m <sup>3</sup> )	Equipements divers			Salinité	Type de sol	Salarié	Type de tarification
36 (date de 93)	17 (date de 93)	52 (date de 93)	1500	0	0				1.3	Sableux	1 pomp	h

**Budget en 1997**

	Gestion AIC	Entretien/Fonctionnement	Imprévu	Total dépense	Cotisation	Prix (mil/m <sup>3</sup> )	Prix (DT/h)	Volume pompé	Vente	Divers recette	Total Recette
Prévu	200	9468	500	10168	500	52	5.6	262000	9668	0	10168
Réalisé	726	5627	5002	11356	0	33	3.6	304668	10584	15039	25623
Panne réseau	Panne énergie	Panne pompe	Heures d'irrigation	Nbre d'heure / jour en moyenne (pannes comptées)	Solde 96	Solde 97	Approbation du budget	Dernière Assemblée générale		Arrêt situation financière	
0	0	0	2821	7.7	1503		Mars 97	Juillet 98			

**Assolement en 1997***italique : chiffres de Sarah FEUILLETTE*

Arboriculture	Culture maraîchère	Grande culture	Culture fourragère	Culture industrielle	Culture en étage	Bovins	Vache laitière	Ovins/caprins	Autres
0	30 (40)	30 (20 de cucurbitacées)	40 céréales 30	0	0				0

L'AIC fut visitée une première fois en avril 98, puis le 29 mars 99 : discussion avec le président en présence de quelques agriculteurs. Une dernière discussion le 23 avril avec le pompiste a permis d'éclaircir certains points.

**Historique**

L'AIC est une association mixte : eau potable et irrigation. L'AIC dessert un périmètre de 114 ha et un village de 100 familles par deux bornes fontaines. Seules la mosquée et l'école sont alimentées directement. Jusqu'à la fin des années 80, le village était alimenté par un puits qui s'asséchait très vite lorsqu'on y puisait. Un approfondissement de 18 à 36 m n'a pas changé cette faiblesse. En 1992, le CRDA a construit un forage à 85m qui délivre un débit constant de 30 l/s.

**Structure technique**

Les 100 ha sont irrigués en gravitaire amélioré (Bargatère). Le débit à la prise de 10 l/s. Il y a un plan parcellaire dans la salle du forage. La pompe est neuve, elle alimente l'irrigation et un réservoir AEP avec ajout automatique d'eau de Javel.

Il y a actuellement un appel d'offre lancé par l'Etat pour passer des Bargatère à un réseau de canalisations enterrées car les canalisations en PVC ne sont pas bien étanches. Le projet est entièrement financé par l'Etat.

Enfin, les surfaces ne sont pas homogènes : de 0.5 à 8 ha.

**Vie associative**

Le Conseil d'Administration comprend le président, le trésorier et 4 agriculteurs. Pour des raisons de conflits internes, il vient d'être entièrement réélu

En 1998, le Conseil était formé de 9 membres, initialement choisis par un représentant du Délégué parmi les plus grands agriculteurs. Les rares changements s'opéraient alors par "cooptation". Le président du Conseil était alors le Directeur de l'Ecole. L'Assemblée Générale n'avait pas encore eu lieu.

### **Assolement**

Chacun n'irrigue que la moitié de sa terre, au maximum 3 ou 4 ha, sauf si la surface est petite. Si un agriculteur a moins de 3 ha, il peut l'irriguer entièrement (ce n'est peut-être pas formalisé autant que cela en pratique). Cette règle est appliquée parce qu'on manque d'eau, mais aussi parce que cela permet à la terre de se reposer.

Les principales cultures sont le melon, l'orge, le blé et la pastèque. Il y a environ 40 à 60 ha de pastèques et de melons en été, et de 25 à 30 ha de céréales et de fèves en hiver. D'habitude, pour laisser reposer la terre, on insère 3 années de melon et une de jachère entre deux cultures de pastèque. Ceux qui n'ont pas assez d'argent pour investir dans le melon font de la fève et des céréales l'hiver en attendant que la terre soit de nouveau prête pour des pastèques.

L'irrigation hors périmètre est déconseillée par le CRDA : les agriculteurs de El Melalsa sont d'accord et ne la pratique pas. Ils ont tous eu l'idée de faire cela, mais "si on l'acceptait, ça ne serait pas tenable".

### **La culture de la pastèque**

L'enquête a eu lieu pendant un semis de pastèque : l'agriculteur fait un trou dans un terre qui a été irriguée, met de l'engrais puis 5 graines. Les trous sont espacés de 1 m (0.8 m entre les raies). Deux semaines plus tard les plantules sortent : s'il y en a beaucoup, l'agriculteur n'en garde que 2. On commence alors à irriguer partout, en gravitaire. L'agriculteur désherbe et laboure la terre pour que l'eau s'infilte bien. Quand il y a des vers, il peut les trouver à la main.

La période entre deux cultures de pastèques est au moins 4 ans ; les agriculteurs attendent 5 années par sécurité. C'est à cause des vers, mais aussi parce que la pastèque « prend tout le sucre du sol ».

### **Budget**

Le budget et le compte postal, initialement gérés par le pompiste, sont maintenant gérés par un membre du Conseil. Le prix actuel est de l'eau d'irrigation est de 1.2 DT/h pour 10 l/s, soit 33.3 mil/m<sup>3</sup>. L'eau potable est payante : 1.2 DT/mois/famille. L'AIC ne pratique pas l'aide aux céréales.

Les dépenses sont :

- le salaire du pompiste, 100 DT/mois et 6 DT/nuit de travail ;
- l'électricité, de l'ordre de 600 DT/an (soit 2 mil/m<sup>3</sup>).
- les petites réparations, essentiellement de la soudure sur les conduites usées (au quatrième trimestre 98, le petit entretien a ainsi coûté 156 DT).

Le budget est positif : l'argent restant sert pour les pauvres du village...et a servi l'année dernière à construire le bureau du directeur de l'école, ce qui, entre autres, lui a coûté son poste de président.

Les agriculteurs sont d'accord pour ce prix : pas besoin de le baisser. L'excédent de trésorerie est de 16000 DT en novembre 1998.

### **Tour d'eau**

Il n'y a pas de concertation, lors des semences, pour savoir qui plante quoi sur une main d'eau. Il n'y a pas non plus de liste formalisée du tour d'eau. Le tour d'eau est composé de 3 mains d'eau indépendantes. La période de tension sur la ressource s'étend d'avril à août, et notamment en début de campagne, début avril, car les céréales ont besoin d'une dernière irrigation pendant que débute la campagne d'irrigation du maraîchage.

En été, les tours d'eau ont de 9 h : un de 23h à 8h du matin et un autre de 8h à 17h. La période de 17h à 23h constitue la période de pointe fixée par la STEG. Les agriculteurs n'accepteraient pas de payer leur eau plus cher pour pouvoir quand même irriguer pendant cette période. La pause, c'est aussi pour reposer la pompe, qui est « plus importante que le fellah ». Il y a 30 agriculteurs : cela donne un tour d'eau de 15 jours. Le tour d'eau varie en pratique parce que :

Le pompiste me dit qu'en 9h, l'ensemble du débit du forage peut irriguer 2.5 ha (soit 0.8 ha par agriculteur tous les 15 jours !). En effet, 10 l/s correspondent à 36 m<sup>3</sup>/h, soit 324 m<sup>3</sup> pendant un tour d'eau et il faut compter environ 480 m<sup>3</sup> par hectare.

Les canalisations Bargatère diminuent de taille de diamètre au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la pompe : elles peuvent laisser passer au maximum 30, puis 20 et enfin 10 l/s. Suivant sa position dans le périmètre, un agriculteur, s'il est seul à vouloir irriguer, peut obtenir 30, 20 ou seulement 10 l/s.

A El Melalsa on met en moyenne 3000 m<sup>3</sup>/ha.

Lorsque les agriculteurs ont besoin de peu d'eau, ils s'arrangent pour "commander" ensemble 9h au pompiste et paient ensemble. Le tour d'eau est géré de façon complètement autonome : la cellule AIC n'intervient pas.

### ***Les puits***

Il y a 5 puits actuellement en fonctionnement dans le périmètre : ces agriculteurs n'utilisent que rarement l'eau de l'AIC. Lorsque le puits peut fournir plus d'eau que les terres du propriétaire n'en ont besoin, il existe deux systèmes :

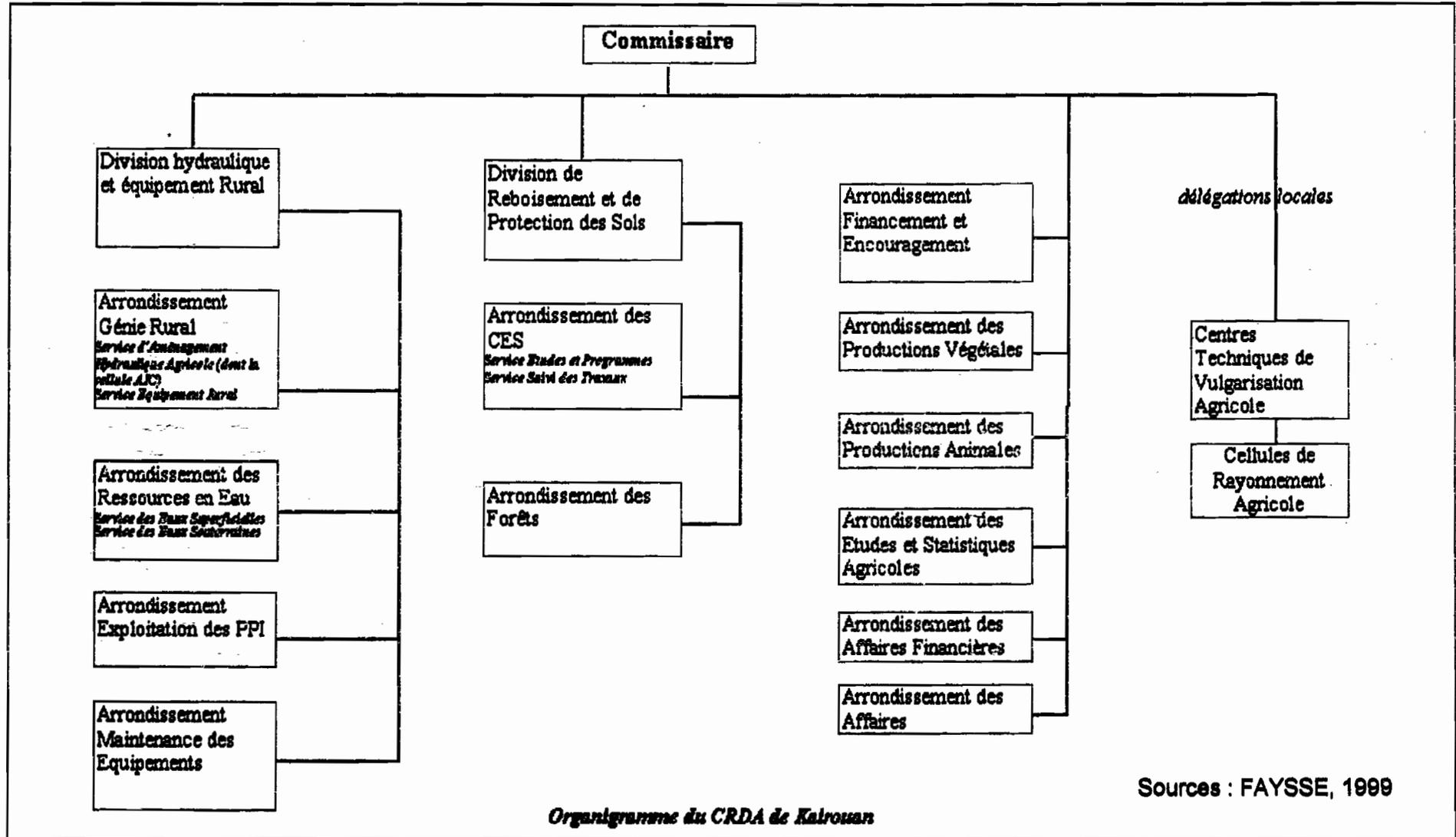
- soit l'agriculteur qui veut l'eau du puits cède pour la campagne la moitié de ses terres au propriétaire en échange de l'eau ;
- soit le propriétaire reçoit un cinquième de la recette.

### ***Panne***

Au quotidien, l'AIC ne reçoit aucune aide du CRDA. En cas de casse, si le montant des dégâts est supérieur à environ 100 DT, les adhérents iront voir le délégué pour qu'il intervienne auprès du CRDA.

Ils ont confiance dans l'intervention du CRDA et dans leur capacité budgétaire en cas de panne. Pas de contrat avec un ouvrier, c'est le CRDA qui intervient.

**ANNEXE 2 – ORGANIGRAMME DU CRDA**



**STRUCTURE ET ROLE DU CRDA**

Le Commissariat Régional de Développement Agricole, qui couvre tout le gouvernorat, est constitué en divisions. La division HER (Hydraulique et équipements ruraux) regroupe 4 arrondissements, dont celui des ressources en eau et celui du Génie Rural (GR). D'une manière générale toutes les directions techniques du Ministère de l'Agriculture y sont représentées sous forme d'arrondissements. On y trouve aussi, à une échelle d'action plus locale (la délégation), les « Cellules de Vulgarisation Agricole » qui agissent sur le terrain par l'intermédiaire des « Cellule de Rayonnement Agricole » (à l'échelle du secteur). Ces services sont localisés sur le terrain, à proximité des zones concernées. Ils mènent auprès des agriculteurs des sessions de formation, donnent des exemples de bonnes conduites agricoles sous forme d'aides à des agriculteurs « cibles », sont chargés de distribuer les aides de l'Etat en termes d'intrants, de prophylaxie ou autre, et enfin rassemblent régulièrement les principales caractéristiques agricoles de leur région pour les transmettre à l'administration centrale. Ils sont également chargés officieusement d'aider la DRE à faire la police des eaux.

Le CRDA, comme beaucoup d'administrations locales, souffre d'un manque de personnel et de moyens matériels. Les tournées sont souvent réduites ou annulées faute de véhicule. La gestion des secteurs hydrologie et hydrogéologie est assurée pour tout le gouvernorat par une seule personne, malgré l'ampleur et la diversité des travaux nécessaires dans ce domaine.

## **ANNEXE 3 – ANALYSE DIACHRONIQUE DE LA GESTION DE L'EAU EN TUNISIE**

Sources : FEUILLETTE & al., 1999

### **1.1 SITUATION HYDROCLIMATIQUE DE LA TUNISIE : BREFS RAPPELS**

La Tunisie reçoit en moyenne 230 mm/an d'apports pluviométriques inégalement répartis sur le territoire : 594 mm/an sur le Nord, 289 mm/an sur le Centre et seulement 156 mm/an dans le Sud du pays (DGRE, 1990). La variabilité interannuelle des précipitations est forte comme dans tout le bassin méditerranéen et s'accroît du Nord vers le Sud.

Ces caractéristiques climatiques complétées par les aspects géomorphologiques permettent de découper le pays en 3 grandes régions naturelles :

- le Nord fournit des écoulements en eau de surface assez réguliers estimés à 2190 millions de m<sup>3</sup>/an soit 82% du potentiel total du pays,
- le Centre présente des écoulements irréguliers et parfois violents dont les apports annuels sont évalués à 320 millions de m<sup>3</sup> soit 12% du potentiel national,
- le Sud qui représente 62% de la superficie totale du pays ne dispose pas de grands bassins collecteurs et ne produit que 190 millions de m<sup>3</sup> soit 6% du potentiel (Kallel R., 1995).

Outre ces écoulements, la Tunisie dispose de nombreuses nappes phréatiques capables de stocker 719 millions de m<sup>3</sup>/an (DGRE, 1995), avant tout situées dans la région Nord, et de nappes profondes renfermant 1250 millions de m<sup>3</sup> dont 50% sont considérés comme non renouvelables (DGRE, 1996), la plupart étant localisées dans le sud du pays. Globalement les nappes phréatiques ont une salinité supérieure à celle des nappes profondes (Mammou A., 1993).

Face à ces contraintes naturelles, les Pouvoirs Publics ont conçu et mis en œuvre une politique hydraulique dont nous allons retracer les principales évolutions.

### **1.2 LA PHASE DE MOBILISATION INTENSE DES RESSOURCES EN EAU (1960-1990)**

Les aménagements techniques mis en place par le gouvernement tunisien ont pour objectifs principaux de régulariser ces écoulements pour les transformer en ressource exploitable et de transférer une partie de ces ressources mobilisées vers les régions côtières pour satisfaire les besoins des populations qui y sont majoritairement installées, et de la

région Nord vers la région Centre pour tenter de gommer les disparités régionales. Cette stratégie de mobilisation, actuellement en phase terminale, prévoit la construction de nombreux types d'ouvrages :

- **banquettes en hauts de versants ; lacs collinaires à courte durée de vie et sans gestion (1000 prévus, 392 construits) : barrages collinaires plus importants avec des possibilités d'interconnexions (203 prévus, 66 achevés, 45 en cours).**
- **grands barrages** qui constituent la colonne vertébrale de la politique de gestion et de transfert des stocks d'eau importants (33 programmés, 18 terminés, 4 en cours).
- **ouvrages de recharges et d'épandage** pour diriger les écoulements de surface vers les nappes phréatiques et la zone aérée du sol (4000 prévus, 2094 réalisés).
- **forages d'exploitation des nappes** (2260 prévus, 1227 en exploitation).

La mobilisation des ressources en eau conventionnelles arrive maintenant à son terme. Pour augmenter sa marge de manœuvre, la Tunisie a recours aux ressources en eau non conventionnelles : eaux usées traitées pour l'agriculture (120 Mm<sup>3</sup>/an) et le dessalement très récent de l'eau saumâtre et de l'eau de mer pour certaines agglomérations. Dans le contexte socio-économique actuel, ces nouvelles techniques ne permettront pas d'accroître considérablement la ressource globale.

### **1.3 LA PHASE D'ACCOMPAGNEMENT LEGAL ET STRUCTUREL (1970 - 1980)**

#### **1.3.1 le code des eaux de 1975**

L'Etat fixe le nouveau cadre législatif de la gestion de l'eau en 1975 par le vote du Code des Eaux, toujours en vigueur qui introduit les points importants suivants :

- la constitution et l'étendue d'un Domaine Public Hydraulique inaliénable et imprescriptible (incluant les nappes d'eau souterraines de toutes sortes) ;
- la transformation du droit de propriété de l'eau en droit d'usage, obligeant les utilisateurs à solliciter une concession à l'Etat qui fixe les priorités d'attribution (eau potable, agricole, industrielle et commerciale) et les modalités d'évolution des droits anciens ;
- la notion de périmètre de sauvegarde lorsque "les conditions d'exploitation des ressources existantes risquent de mettre en danger la conservation quantitative et qualitative des eaux", zone où tout travail de recherche ou d'exploitation, à l'exclusion des modifications apportées aux ouvrages déjà existants, doit être soumis à autorisation (Code des Eaux, Art.15) ;
- la notion de périmètre d'interdiction lorsque "la conservation ou la qualité des eaux sont mises en danger par le degré d'exploitation des ressources existantes", zone où l'Etat

soumet à autorisation toute modification apportée sur les ouvrages existants et peut limiter leur débit, voire supprimer des prélèvements nuisibles à la conservation des ressources (Code des Eaux, Art. 13) ;

- la responsabilité de l'application de la loi et des règlements ultérieurs est confiée au Ministère de l'Agriculture.

### **1.3.2 le cadre institutionnel d'application**

C'est le Ministère de l'Agriculture qui est chargé de la ressource en eau, tant au niveau de son suivi, de son évaluation que de sa gestion. Les composantes de cette mission sont prises en charge par des Directions Générales Techniques spécialisées :

- La DG des Ressources en Eau chargée de l'évaluation et du suivi de la ressource,

- La DG des Grands Travaux Hydrauliques pour étudier, concevoir et gérer les grands barrages,

- La DG du Génie Rural pour construire et gérer les infrastructures d'irrigation et les captages pour l'eau potable rurale.

A ce dispositif viennent s'ajouter :

- la SONEDE (Société Nationale d'Exploitation et de Distribution de l'Eau), entreprise d'Etat à caractère économique et commercial. Cet organisme assure seul toute la chaîne de production d'eau potable. Le prix de l'eau potable est national et tarifé en tranches. La SONEDE s'occupe des communes de plus de 500 habitants, les zones rurales étant prises en charge par la DGGR.

- Les Offices de Mise en Valeur (OMV), institutions régionales responsables de l'encadrement agricole des Périmètres Publics Irrigués (PPI), qui distribuent l'eau à des agriculteurs responsables de leur exploitation.

L'Agence de Réforme Agraire a pour mission d'organiser la structure foncière des PPI pour favoriser la rentabilité des exploitations agricoles.

Enfin, le Code des Eaux définit une structure interministérielle, le Comité National de l'Eau, chargée de trancher les conflits sur la répartition, mais encore peu opérationnelle (Faysse, 1998).

### **1.3.3 les objectifs poursuivis**

Les structures institutionnelles organisent leurs actions autour de 4 Plans Directeurs d'Aménagements des Eaux élaborés pour les régions extrême nord, nord, centre et sud par des bureaux d'études nationaux et internationaux. Il consacrent l'option grands barrages et transfert des eaux du nord vers les grandes régions utilisatrices, la part de la grande hydraulique dans les investissements agricole atteignant les 30% (Pérennes, 1988). Il s'agit avant tout de "tirer de la terre ce qu'elle peut donner en mettant à profit les techniques modernes" (Bourguiba, 1964 in Pérennes, 1993).

L'investissement en infrastructures hydrauliques et hydro-agricoles s'accompagne d'une politique d'incitation à l'intensification des prélèvements, grâce à des lois favorisant l'investissement agricole (loi n°82-67) : selon leur catégorie économique, les exploitants agricoles peuvent toucher jusqu'à 60% de subvention sur la construction et l'équipement de leur puits.

Les objectifs prioritaires de ces mesures sont :

- assurer l'Adduction en Eau Potable à tous les habitants,
- stabiliser les revenus ruraux pour lutter contre l'exode rurale, "source d'instabilité sociale et politique", l'agriculture étant en ce sens "le meilleur garant" pour "fixer la jeunesse" (M. ZALI, Premier Ministre, 1981 in Moussa, 1988).
- assurer la sécurité alimentaire du pays et limiter le poids de l'importation sur le budget national, notamment à travers la production de céréales et de cultures d'industrie (Pérennes, 1993).
- développer l'agriculture d'exportation et principalement des agrumes,
- développer le tourisme, qui constitue une grande part des revenus de la Tunisie, et une source essentielle en devises..

### **1.4 LA PERIODE DES ECONOMIES (1980 - 1990)**

La mobilisation des ressources se poursuit, mais le poids budgétaire du schéma de développement précédent rend sa prolongation problématique. Avec le début des années 80, la réduction du coût budgétaire de la politique hydraulique est une préoccupation constante des Pouvoirs Publics. Le relèvement des taux de recouvrement est l'objectif principal assigné aux Offices assurant la gestion des Périmètres Publics Irrigués. Les difficultés rencontrées à ce niveau sont à l'origine de la suppression pure et simple des Offices eux-mêmes (1986), qui sont remplacées par des institutions locales (AIC) et régionales (CRDA) dont les attributions sont fixées ou repensées par des compléments au Code des Eaux en 1987.

#### **1.4.1 mise en place des associations d'intérêt collectif (aic)**

La diminution progressive des charges de l'Etat débute avec le Plan d'Ajustement Structurel appliqué à l'agriculture en 1986. Elle est souhaitée par les bailleurs de fond internationaux et très fortement prônée par le Ministère de l'Agriculture, pour assainir le budget de l'Etat et responsabiliser les usagers par une gestion localisée à laquelle ils prendraient part.

L'Etat élabore et met en place le cadre juridique de fonctionnement d'associations locales qui doivent se charger au quotidien du fonctionnement et de la maintenance des équipements de captage et de distribution de l'eau potable ou d'irrigation, dont la gestion leur est déléguée.

Les AIC sont dotées de la personnalité juridique, créées à l'initiative des usagers ou de l'administration et validées par le Ministère de l'Agriculture. Elles fonctionnent de manière relativement autonome, avec toutefois un certain contrôle de l'administration.

Un contrat de gérance d'une durée de trois ans doit être signé entre l'administration et chaque AIC, fixant précisément le rôle de chacun.

Les dépenses de l'AIC couvrent les frais de fonctionnement et de maintenance ainsi que des postes non sans rapport avec l'eau (solidarité, ouvrages pour la collectivité,...), les recettes provenant des cotisations des adhérents, des subventions du CRDA et de la vente de l'eau.

#### **1.4.2 les groupements d'intérêt hydraulique (gih), structures de contrôle des aic**

Les GIH, mis en place dans chaque gouvernorat, ont pouvoir de "prendre des mesures pour pallier les insuffisances constatées" dans les AIC (décret n°87-1262). Ils se réunissent deux fois par an au moins et sont composés du gouverneur (président), du commissaire (secrétaire), des représentants des ministères des Finances et de la Santé, de la SONEDE et de quelques arrondissements du CRDA, de 7 membres des AIC et de représentants de l'Union Tunisienne de l'Agriculture et de la Pêche (UTAP), ancienne fédération d'associations locales jouant théoriquement le rôle d'intermédiaire entre usagers et administration.

### 1.4.3 les commissariats régionaux de développement agricole (crda)

Le CRDA est une structure fondée dans les années 80 mais qui est fortifiée par la loi de 1989 sur la décentralisation. Le Commissariat a désormais rang de Direction Générale et son espace de compétence concorde avec les gouvernorats, structures administratives régionales : il y a donc 23 CRDA en Tunisie. Le rapprochement vers les usagers est accentué par des structures plus locales qui dépendent du CRDA et qui concordent aussi avec les découpages administratifs du gouvernorat.

Le CRDA est une structure pluridisciplinaire ou intégrée qui contient des unités thématiques (arrondissements) représentant la plupart des Directions Générales nationales. Les arrondissements dépendent administrativement du Commissaire mais "thématiquement" de leur Direction d'origine. Seuls la gestion des grands travaux hydrauliques et la SONEDE échappe en partie à cette tutelle régionale.

L'encadrement des AIC et leur généralisation est une des missions principales du Commissariat, mais ce dernier reçoit également les recouvrements des droits d'usage de l'eau, dont la tarification est établie au niveau national.

L'arrondissement des Ressources en Eau est chargé de veiller au respect des règlements. C'est une police des eaux assermentée qui dresse des procès verbaux en cas d'infraction et qui les transmet au commissaire pour être traitée devant une juridiction civile.

ORGANIGRAMME SIMPLIFIE DU CRDA DE KAIROUAN



### **1.5 LA PERIODE DE PRESERVATION EN VUE DES PENURIES ANNONCEES (1990 – 2000)**

Si les prévisions situent la rupture offre/demande globale vers 2010, des pénuries locales ont déjà été vécues lors d'années sèches. Différentes études ont été lancées (Economie de l'eau 2000, Stratégie des ressources naturelles, ...) pour concevoir l'exploitation rationnelle et durable des ressources naturelles (eau, soi principalement). La Tunisie s'engage donc dans le contrôle et la gestion de la demande au moyen d'outils technico-économiques encadrés et soutenus par des mesures réglementaires et institutionnelles :

- L'augmentation du prix de l'eau : l'eau agricole a doublé entre 1989 et 1996 (de 30 à 60 millimes<sup>64</sup>), et le tarif de l'eau potable est désormais calculé par tranches de consommation, les hôtels étant systématiquement facturés sur le tarif le plus fort.
- Des lois et des décrets pour inciter les agriculteurs à économiser l'eau : les équipements de micro-irrigation et les conduites de distribution sont subventionnés à hauteur de 40 ou 60 %, selon la catégorie des agriculteurs. Ces mesures sont encadrées par l'Agence de Promotion des Investissements Agricoles (APIA), agence publique à caractère industriel et commercial.
- Le renforcement du rôle des Associations d'Intérêt Collectif : les AIC sont la structure de base sur laquelle les pouvoirs publics entendent accélérer leur désengagement et contrôler les prélèvements. Par effet de balancier, la plupart des Directions Générales perdent de leur importance opérationnelle mais gardent leur rôle d'encadrement et de coordination dans leurs secteurs respectifs.
- La législation sur la Conservation des Eaux et des Sols : la loi de juillet 1995 définit les types de travaux CES à entreprendre pour lutter contre l'érosion en diminuant les vitesses de ruissellement (tabias et banquettes végétales) ou en stockant les écoulements dans des petits ouvrages (lacs et barrages collinaires).
- La législation environnementale: créé en 1991, le Ministère de l'Environnement est chargé de l'environnement et la qualité de la vie, ainsi que de l'aménagement du territoire. Mais il n'intervient qu'au niveau des eaux usées, en supervisant l'Office National d'Assainissement (ONAS), qui assure la collecte et le traitement des eaux usées soit en gestion directe soit comme conseil pour les communes, indépendamment du travail de la SONEDE.

<sup>64</sup> 1 millime équivaut à 1 Dinar / 1000, soit environ 1 Dollar / 1000

### **1.6 BILAN : DEPHASAGE CONJONCTUREL OU INADEQUATION PROFONDE ?**

Etabli par Kanfhir & al pour l'année 1996, le bilan global offre/demande reste excédentaire au niveau des ressources conventionnelles. Le recours aux eaux non conventionnelles n'a été nécessaire que pour satisfaire des besoins en eau potable ponctuels. Cependant, malgré le caractère excédentaire de cette année, 74 nappes sont signalées en surexploitation. Si la tendance se confirme, le déséquilibre offre/demande sera atteint avant 2010.

Il semble pour le moment que l'augmentation des prélèvements réalisés par la collectivité des usagers n'est pas totalement maîtrisée par les pouvoirs législatifs, réglementaires et juridiques actuels.

Il peut s'agir d'un déphasage conjoncturel, corrigible par une adaptation du dispositif réglementaire et institutionnel, comme l'Etat l'a déjà fait précédemment. Mais il peut s'agir aussi d'une inadéquation plus profonde entre un appareil de contrôle un peu vieillissant et une demande qui s'adapte plus rapidement aux évolutions technologiques récentes et aux changements mondiaux qu'elle anticipe.

Avant d'émettre tout diagnostic, il nous semble intéressant de mesurer et de tâcher d'expliquer sur un cas concret, l'écart pouvant exister entre objectifs de gestion et pratiques réelles des usagers agricoles.

## **ANNEXE 4 – STRUCTURATION DES DONNEES APPLIQUEES AUX SIG (COURS HTML PROPOSE PAR L'UNIVERSITE DU QUEBEC A MONTREAL)**

### **LEXIQUE**

#### **Éléments fondamentaux :**

##### ***Entité***

Objet pourvu d'une existence propre et conforme à la fonction occupée par l'objet dans le système d'information.

##### ***Relation***

Association fonctionnelle entre deux entités.

##### ***Attribut***

Donnée élémentaire sur une entité ou une relation.

##### ***Relation binaire***

Relation entre deux entités

#### **Éléments permettant une modélisation plus riche :**

##### ***Relation ternaire***

Relation unique impliquant simultanément trois entités. Exemple : pour assigner un score de potentiel (faible, moyen, élevé) pour une activité (agriculture, foresterie, récréation) en fonction d'un critère (type de forêt, classe de pente, tenure des terres) et selon la classe (pour le critère forêt : feuillus, conifères, mélangés , il faut une relation "Score" reliant les entités "Activité", "Critère "et "Classe". Ce cas est fréquent en analyse multicritère.

##### ***Relation réflexive***

Relation entre une entité et elle-même. Par exemple, un secteur de recensement "est voisin" d'un autre secteur de recensement.

### **Entité faible (ce terme est propre au vocabulaire du logiciel Chen DB-Designor)**

Entité dont l'existence dans la base de donnée est conditionnelle à l'existence d'une autre entité. Par exemple, une compagnie qui aurait des données sur les employés et leurs enfants ne maintiendra pas l'information sur les enfants des employés quittant la compagnie. L'entité "enfant" est donc une entité faible.

### **Connectivité et cardinalité**

La connectivité renseigne sur le nombre d'occurrences de part et d'autre d'une relation. Les valeurs de connectivité sont :

- un-à-un (1,1)
- un-à-plusieurs (1,N)
- plusieurs-à-plusieurs (N,M)

Exemples :

- Un polygone possède un centroïde (1,1).
- Un lot peut compter plusieurs bâtiments (1,N).
- Une rue compte plusieurs intersections et une intersection raccorde plusieurs rues (N,M).

La cardinalité renseigne sur le nombre précis d'occurrence de part et d'autre d'une relation. On distingue la cardinalité minimum et la cardinalité maximum. Lorsqu'elle est indéfinie (le nombre maximum dépend du contenu de la base de données), on la désigne par la lettre N. Toute combinaison de chiffres et de variables (N) est acceptable en autant que la cardinalité maximum soit plus grande ou égale à la cardinalité minimum. Les cardinalités sont écrites de part et d'autre de la relation, près de la boîte réservée à l'entité.

### **Relation**

Une relation est un fait, un ensemble de valeurs reliées de façon permanente. Elles sont formées de tuples, eux-mêmes composés d'attributs dont certains peuvent être des clés primaires, externes ou les deux à la fois. Il existe de multiples façons d'organiser un ensemble de données, certaines étant meilleures que d'autres. Les différents types d'organisation des données se dénomment (dans le modèle relationnel) "formes normales".

### **Enregistrement ou tuple**

L'élément fondamental de la base de donnée est l'enregistrement ou " tuple ". Chaque "tuple" représente un fait, un ensemble de valeurs reliées de façon permanente. Chaque champ contient une donnée sur un aspect de l'élément représenté. On accède à chaque enregistrement au moyen d'une clé primaire, ex : le nom de la rue, le numéro civique, etc.

### **Champ ou attribut**

Un attribut est une variable qui renseigne sur une caractéristique d'une entité. L'attribut correspond au champ (un attribut par champ et un champ par attribut).

### **Domaine de l'attribut**

Le domaine de l'attribut est l'ensemble des valeurs qu'il peut prendre. Pour un attribut de type nominal (par exemple : nom, occupation du sol, type de culture), le domaine est défini par un ensemble de valeurs possibles (l'ensemble des types de cultures possibles dans une région). Cet ensemble est habituellement fini mais est parfois difficile à cerner (domaine des noms de familles). Pour les attributs de type quantitatif (pente, température, âge), le domaine se définit souvent par des bornes minimales et maximales. Le respect du domaine des attributs contribue grandement à l'intégrité référentielle. Il est d'usage de créer une table contenant l'ensemble des valeurs du domaine d'un attribut de type nominal afin d'offrir à la personne qui saisit les données une liste correcte des valeurs possibles. Il s'agit alors d'une table de consultation.

### **Clés primaires et externes**

Chaque relation possède une clé primaire, i.e. un attribut ou groupe d'attributs dont la valeur identifie chaque tuple de façon unique. Par exemple, on utilise rarement le nom d'une personne comme clé primaire car la même valeur peut représenter deux personnes différentes ou plus. Une clé primaire peut être la concaténation de deux attributs (comme le code permanent) ou encore la combinaison de deux attributs. Par exemple, dans une relation "logement", pour identifier un seul logement, on doit procéder par une clé adresse et # d'appartement. Il faut souvent disposer de renseignements sur le fonctionnement d'un organisme afin de déterminer quels seront les attributs qui constitueront des clés primaires.

Une clé externe est un attribut qui se retrouve dans plus d'une relation et dont la fonction est de lier des relations. Elle remplace les pointeurs. Une valeur de clé primaire doit exister pour toute valeur de clé externe afin de préserver l'intégrité référentielle.

### **Dépendance fonctionnelle**

La relation entre un attribut non-clé et la clé primaire d'une relation est appelée dépendance fonctionnelle :

On pourrait écrire : Valeur = f (clé primaire) où valeur est la valeur d'attribut pour un tuple donné et f est une fonction correspondant à l'attribut. Par exemple : valeur = population (Id\_SR) que l'on pourrait traduire par valeur est égal à la population du secteur de recensement identifié par Id\_SR, dépendance dont voici un exemple numérique : 3456 = population ( 78664).

### **LA NORMALISATION**

La structuration relationnelle consiste à organiser des données sous forme de tables en suivant un certain nombre de règles. Ce processus se nomme la "normalisation " des données. Les formes normales constituent un ensemble hiérarchique de règles progressivement plus restrictives. Bien qu'il existe une quatrième et même une cinquième forme normale, la troisième forme normale est considérée comme la forme optimale, alliant simplicité et rigueur. Nous allons examiner les trois premières formes normales. Voici les principaux avantages de la normalisation des données selon Brathwaite (1991). :

- elle permet de développer une stratégie pour construire des relations et choisir des clés,
- elle bonifie l'interface-usager en offrant la possibilité d'effectuer des requêtes non-prévues,
- elle réduit les problèmes d'insertion et d'effacement de données,
- elle rend la modification de la structure de la base de données (par exemple : ajout ou suppression d'attributs) plus facile.

Les propriétés structurales d'une relation sont les suivantes (d'après Brathwaite (1991)) :

- Les colonnes représentent des champs. Chaque colonne porte un nom unique. Chaque colonne est homogène de sorte que toutes les données qui s'y trouvent sont de même type (par exemple : nom, densité, identifiant, etc.). Chaque colonne possède un domaine, c'est-à-dire un ensemble des valeurs possibles pour cette colonne.
- Les rangées représentent des enregistrements.
- L'ordre des rangées et des colonnes n'est pas important et ne doit pas être utilisé comme moyen d'organiser ou de classer les données.
- La duplication de rangées n'est pas admise.

- La répétition de groupes (c'est-à-dire d'un ensemble d'attributs inter-reliés qui apparaît plusieurs fois pour un même enregistrement) n'est pas admise.
- Une clé-candidate est un attribut (ou groupe d'attributs) qui identifie de façon unique une rangée. Une clé-candidate doit posséder les propriétés suivantes :
  - chaque rangée doit être identifiée de façon unique par la clé,
  - aucun attribut de la clé ne peut être supprimé sans altérer la propriété d'identification unique de la clé.

Une clé primaire est une clé candidate choisie pour être identificateur unique. Toute relation doit contenir une clé primaire.

Une clé externe est un attribut non-clé qui apparaît à la fois dans une première relation comme attribut simple ou comme partie d'une clé composée dans une autre relation comme clé primaire. Une clé composée est une clé qui contient plusieurs attributs.

### **L'INTEGRITE REFERENTIELLE**

L'intégrité référentielle concerne l'accord entre l'information distribuée dans deux relations. L'intégrité référentielle d'une base de donnée sera assurée si une valeur de clé primaire existe pour toute valeur de clé externe. Plusieurs S.G.B.D. permettent une vérification automatique de l'intégrité référentielle.

### **Types de jointures**

Pour interroger une base de données relationnelle sur plusieurs entités, nous devons recourir à des jointures pour raccorder des éléments d'information apparaissant dans plusieurs relations.

#### ***Jointure interne ou équijointure***

C'est le type de jointure le plus courant. Seul les champs de la table 1 correspondant aux champs de la table 2 sont retenus.

### ***Jointure externe***

Moins courante, la jointure interne retient tous les champs de la première table (même s'ils ne correspondent à aucun champ de la deuxième) et les champs de la deuxième table correspondant à ceux de la première (jointure externe gauche) ou l'inverse (jointure droite).

### **LA REPRESENTATION INFORMATIQUE DES CHIFFRES ET DES CARACTERES**

Les attributs sont enregistrés dans des fichiers informatique et doivent pour cette raison être exprimés d'après des types pré-établis :

Les données sont définies selon des types (entier, caractères, date, etc.). On peut aussi inclure dans la définition des attributs des mots de contrôle pour forcer la saisie.

- Nombre entier
- Nombre réel
- Chaîne de caractères
- Date
- Monétaire
- Longueur variable

### **Liste des types numériques les plus fréquents**

- Octet (byte): huit bits.
- Entier simple : 1 octet = 0 à 255, -128 à 127.
- Entier : 2 octets = 0 à 65536, -32768 à 32767.
- Entier long : 4 octets = 0 à 4294967296, -2147483648 à 2147483647
- Réel : 4 octets = 3.4E-38 à 3.4E+38. Un certain nombre de bits sont dédiés respectivement à la mantisse et à la puissance.
- Double : 8 octets = 1.7E-308 à 1.7E+308
- Réel double : 8 octets = 1.7E-308 à 1.7E+308

Les caractères sont représentés par des nombres de 0 à 255 pour lesquels il existe une traduction. C'est le code ASCII. Puisque les chiffres sont également des caractères, on peut les représenter par des équivalents ASCII. Ainsi le chiffre 255 peut être représenté en binaire par un octet alors qu'il nécessitera trois octets en ASCII.

## **LE SQL**

Pour établir un lien entre l'utilisateur et le S.G.B.D., il faut disposer d'un langage commun. On travaille actuellement à développer des systèmes en mesure de comprendre les langages naturels (français, anglais, etc.) mais on doit pour l'instant faire usage de langages d'interface (le calcul relationnel, l'algèbre relationnelle, etc.). Un des plus répandus est le SQL. Certains langages d'interfaces spécifiques à la géographie ont également été mis au point.

S.Q.L. est l'acronyme de Structured Query Language, c'est-à-dire "langage structuré de requête". Il fut développé pour interroger et gérer les bases de données relationnelles par E.F. Codd dans les années 70.

C'est un langage non-procédural qui contient environ deux douzaines d'instructions. Il permet de créer, modifier, sélectionner des données. Il assure d'une certaine façon l'indépendance programmes - données puisque la manière dont les données sont recherchées est en partie transparente à l'utilisateur. On ne précise pas :

- l'endroit où se trouvent les données
- les opérations à effectuer
- les index à utiliser

Le SQL peut se diviser en trois parties :

- DDL (data definition language), sert à définir la structure: créer, modifier, effacer...
- DML (data manipulation language), sert à manipuler les données: choisir, ajouter, effacer des tuples.
- DCL (data control language), sert à contrôler l'accès à l'information.

On retrouve dans le DDL les commandes principales suivantes :

- CREATE TABLE Création d'une table
- CREATE INDEX Création d'un index
- ALTER TABLE Modification de la structure
- DROP TABLE Effacement d'une table
- CREATE VIEW Créer une vue

On retrouve dans le DML les commandes principales suivantes :

- **INSERT** Insérer un tuple
- **UPDATE** Modifier un tuple
- **DELETE** Effacer un tuple
- **SELECT** Choisir un ensemble de tuples

Il existe de plus des fonctions :

- de tri (**ORDER BY**) et de regroupement (**GROUP BY**)
- arithmétiques, mathématiques et statistiques (moyenne, maximum, minimum, etc.)
- logiques (**UNION**, **INTERSECTION**, etc.), etc.

## **ANNEXE 5 – NOTIONS DE BASES D'ACCESS**

Les bases de données créées avec Access peuvent comprendre n'importe quelle combinaison des six types d'objets suivants :

### *Tables*

Les tables représentent les structures fondamentales de toute base de données Access ; ce sont elles, en effet qui stockent les données que l'on souhaite exploiter. Dans une tables, les données sont organisées en champs (colonnes) et en enregistrements. Les données qui y sont stockées sont de même catégorie.

### *Requêtes*

Les requêtes permettent de poser des questions sur les données stockées dans les tables et de réaliser des actions sur ces données. Elles servent aussi à combiner des données issues de tables distinctes mais apparentées. Elles permettent de modifier, de supprimer ou d'ajouter aisément de grandes quantités de données. Enfin, elles peuvent servir de base à la construction des formulaires et des états et même de nouvelles tables. Ces requêtes sont en fait codées en langage SQL.

### *Formulaires*

Les formulaires en ligne permettent de consulter, d'ajouter et de mettre à jour facilement les données des tables. A l'ouverture d'un formulaire, Microsoft Access récupère les données d'une ou plusieurs tables ou requêtes et les affiche à l'écran (enregistrement par enregistrement) en utilisant la mise en page que l'on aura créée. Les formulaires peuvent être simples ou complexes, incluant des graphiques, des traits, des fonctions de remplissage automatique qui facilitent l'encodage des données. Sans compter qu'un formulaire peut parfaitement en inclure un autre (appelé sous-formulaire). Les formulaires, en orientant la saisie des données, garantissent l'intégrité des tables sous-jacentes.

### *Etats*

Les états servent à présenter, analyser et à imprimer les données selon une mise en page choisie. Comme les formulaires, il peuvent être élémentaires ou élaborés. Ils permettent aussi de présenter les résultats des requêtes d'une manière intelligibles.

### ***Macros***

Les macrocommandes sont des ensembles d'instructions qui permettent d'automatiser les tâches répétitives. A l'exécution d'une "macro", Access reproduit les actions qui la constituent, en respectant fidèlement l'ordre dans lequel ces actions ont été définies. On peut également grâce à ces macrocommandes, ouvrir automatiquement des formulaires, imprimer des états, atteindre un bouton ou un enregistrement, etc. Elles permettent aussi de naviguer entre tables, requêtes, formulaires et états et de construire ainsi des applications exploitables par n'importe quel utilisateur, même ceux qui ne connaissent peu ou pas Access.

### ***Modules***

A l'instar des macrocommandes; les modules servent à l'automatisation et à la personnalisation d'Access. Toutefois, contrairement aux macros, les modules permettent un contrôle strict des actions en cours et exigent une connaissance du langage de programmation Visual Basic.

Pour de plus amples informations, nous suggérons la lecture de l'aide en ligne de Microsoft Access ou du Livre d'Or Access 97 de SIMPSON (1997).

## **ANNEXE 6 – NOTIONS DE BASES D'ARCVIEW**

### **Projet**

Un projet ArcView comprend tous les composants d'une session ArcView (vue, tables, graphiques, layouts et scripts) dans un unique fichier qui porte l'extension apr (ArcView Project). Le projet correspond en fait à une "copie conforme" de tout l'environnement de travail tel qu'il est à la dernière sauvegarde du projet (bouton de commande visibles, fenêtre ouvertes, extension chargées, objets géographiques sélectionnées, liens entre tables ou avec d'autres applications, etc.). Les données "sources" affichées dans des vues, des tables, etc. sont stockées dans des formats de fichiers qui leur sont propres et qui varient selon le type des entités géographiques correspondant ("shapefiles"<sup>65</sup>, image, grille).

### **Vues**

Comme leur nom l'indique, les "Vues" sont réservés à la visualisation et la création de "cartes". Ces cartes peuvent être composées de plusieurs couches ou thèmes que l'on superpose dans un système de projection et de coordonnées donné. De nombreuses options permettent de personnaliser les cartes (palettes de composition) graphiques et d'interroger les données cartographiques. De nombreux types de données (spatiales ou non) sont importables et exportables. Il est aussi possible de verrouiller des thèmes compris dans des vues (saisie d'un mode de passe pour pouvoir éditer les informations liées au thème).

### **Tables**

A chaque fichier de forme (correspondant à un thème vectoriel d'ArcView) est associé une table comprenant des champs<sup>66</sup> (colonnes) et des enregistrements (lignes). Les tables sont associées aux thèmes géographiques affichées dans les Vues. C'est-à-dire que la sélection d'un enregistrement d'une table active l'objet du thème correspondant dans la Vue. Les données tabulaires peuvent provenir de fichiers dBASE, delimited text, ArcInfo, Excel, FoxPro (connexion SQL) ou bien de serveurs de base de données. Une fois importées, ces données tabulaires sont codées en fichiers dBASE. Il est alors possible de faire de nombreuses opérations de calculs (arithmétiques, statistiques, logiques, etc.) sur les champs codés. Il existe

---

<sup>65</sup> Les "Shapefiles" ESRI sont des fichiers de données géographiques non topologiques. Les caractéristiques géographiques intégrées sont de type : projection, ellipsoïde, datum, unités : degrés décimaux, mètres, etc.). ces fichiers shape sont liés à des fichiers dBASE attributaires. Il existe quatre extensions liées aux "Shapefiles" es fichiers shape qui doivent pour fonctionner être comprises dans le même espace de travail.

.shp : intègre les caractéristiques de géométrie;

.shx : comprend les index des caractéristiques de géométrie

.sbn et .sbx : correspondent aux fichiers qui renseignent sur des index spatiaux des "shapes". Ils ne sont créés qu'en cas de jointure spatiale ou de manipulation d'autres produits compatibles ESRI.

<sup>66</sup> Un champ tabulaire correspond à une propriété d'une entité géographique.

### *Graphiques*

On peut exprimer des données quantitatives facilement à l'aide de la fonction graphique. De nombreux types de graphiques sont disponibles pour "rendre plus parlantes" les données des tables attributaires que l'on aura choisi d'illustrer. Les options sont assez similaires à celles du tableur Excel.

Il est possible de travailler simultanément avec les représentations graphiques, géographiques et tabulaire des données.

### *Layouts*

Cette fonction permet de mettre en page tous les objets créés dans les vues, les tables, les graphiques, etc. Par ailleurs, on peut pour faire de belles impressions de cartes, utiliser des outils (échelles personnalisées définies ou non par l'utilisateur, insertion de texte pour renseigner la mise en page, carroyage, lien direct avec une vue et/ou un ou plusieurs graphiques, nord géographique, etc.). Si ce lien est activé, tout changement dans un objet lié est automatiquement inclus dans le layout.

### *Scripts*

Pour faire une comparaison, on peut dire qu'un script ArcView, écrit en Avenue, s'apparenterait à des macros Access en Visual Basic. Leur fonction principale est d'automatiser des opérations déjà existantes ou créer (programmation). Les scripts permettent également de personnaliser tout l'environnement ArcView (ajout ou suppression de boutons de commande, création d'interfaces ou d'une application pour des utilisateurs non avertis, etc.).

Pour de plus amples informations, nous suggérons la lecture de l'aide en ligne d'ArcView ou des ouvrages suivants : ESRI, 1996a & 1996c ; ou encore la consultation du site WEB d'ESRI : <http://www.esri.com> ou <http://www.esri-France.fr>.

## **ANNEXE 7 – TYPES DE LIENS POSSIBLES ENTRE DONNEES EXTERNES (TABLES OU REQUETES ACCESS PAR EXEMPLE) ET FICHIER DE FORME ARCVIEW**

### **La jointure d'une table externe à la table attributaire d'un thème**

Lorsque l'on joint des tables dans ArcView, on établit une relation de type un à un (1,1) ou plusieurs à un (n,1) entre la table cible (table attributaire d'un thème, par exemple) et la table source (table ou requêtes provenant du SGBDR Access, par exemple). La table active au moment de la jointure est la table active

Une jointure repose sur les valeurs d'un champ présent dans les deux tables considérées. Le nom de ce champ commun n'est pas nécessairement le même dans les deux tables mais le type de données qui s'y trouve doit être identique (jointure entre valeurs numériques, chaînes, dates, expression booléennes, etc.)

Notons que les données jointes à la table attributaire ne pourront être modifiées depuis ArcView et que si la connexion SQL est maintenue entre les deux logiciels, les champs liés seront automatiquement actualisés à l'ouverture du projet ArcView, en cas de changements dans la table d'origine Access. Ceci garantit l'intégrité des informations contenue dans la base de données (ESRI, 1996a).

### **La liaison d'une table externe à la table attributaire d'un thème**

Dans certaines situations, il est nécessaire d'établir une relation de type un à plusieurs (1,n) entre table cible et table source, ce qui n'est pas permis par une jointure ArcView. A la différence de la jointure, la liaison de tables permet simplement de définir une relation entre deux tables. Les champs de la table ne sont pas ajoutés à ceux de la table cible. Aucune table n'est modifiée. Les tables sont juste liées l'une à l'autre (ESRI, 1996a). Une fois le lien établi entre les deux tables, la sélection d'un enregistrement dans la table cible, entraîne la sélection automatique du ou des enregistrements associés dans la table source. Si la table cible est la table attributaire du thème, la sélection d'un objet du thème sur la vue sélectionne l'enregistrement correspondant dans la table attributaire et de là, sélectionne donc automatiquement les enregistrements associés dans la table source.

### **Les liens dynamiques ou multimédia**

ArcView permet d'établir des liens dynamiques entre les objets d'un thème dans une vue et des fichiers externes. Une fois que ces liens ont été définis, un clic sur un des objets du thème affiche automatiquement le fichier qui lui est associé. On peut ainsi lier des fichiers images, des fichiers tables, du fichier texte, des clips vidéo, etc. Après avoir spécifier dans les propriétés du thème, le type de lien souhaité (spécification d'un script Avenue existant. Il est alors

possible de définir l'action du lien dynamique (exemple : "Lier à un fichier image"), ce qui permet d'exécuter pratiquement n'importe quelle opération, y compris le lancement d'autres applications ! Un champ dans la table attributaire du thème sera créer pour y préciser le chemin d'accès (Path) du fichier lié pour chaque objet.

Parmi ces trois liens possibles, nous utiliserons le plus souvent dans notre projet celle appelée "Jointure".

**ANNEXE 8 – ASSEMBLAGE DES SUPPORTS CARTOGRAPHIQUES ET PHOTOGRAPHIQUES**

**FEUILLES DES CARTES TOPOGRAPHIQUES AU 1 : 50 000**

Haffouz NI-32-XXI-4a	Ash-Shbika NI-32-XXI-4b
	Nasr Allah NI-32-XXII-2d

**PHOTOGRAPHIES AERIENNES AU 1 : 30 000 (MISSION AERIENNE DE 1990)**

C8B-14	C8B-15	C8B-16	C8B-17	C8B-18
	C9-23	C9-24	C9-25	C9-26
C10-22	C10-23			

## **ANNEXE 9 – QUELQUES RAPPELS THEORIQUES CONCERNANT LE GEOREFERENCEMENT AVEC ENVI**

Dans un premier temps, le géoréférencement applique un modèle de déformation (3 types de méthodes existantes sous ENVI : RST correspondant à la correction polynomiale classique de degré 1 ou 2<sup>67</sup> ; *Polynomial de degré 1* ou de degré 2<sup>68</sup> ; ou *Triangulation*<sup>69</sup>) et dans un second temps, un mode de ré-échantillonnage des pixels de l'image rectifiée.

### **Les modèles de déformation**

Si l'on se limite à 3 points dans le cas d'une correction polynomiale de degré 1, ou 6 points dans le cas d'un polynôme de degré 2, la "RMS" (*Root Mean Square* ou Racine carré de la moyenne des écarts au carré) est nulle, mais la précision aléatoire. Ceci implique de saisir au moins le double de points pour limiter les erreurs quitte à éliminer ceux pour lesquels l'erreur est nettement plus importante que les autres (mal positionnés) (SIMONNEAUX, 1998b). On notera que la RMS sera inférieure lorsqu'une correction polynomiale d'ordre 2 sera appliquée puisqu'elle s'adapte à tous les amers saisis, même aberrants ! L'algorithme du modèle de déformation, polynomiale d'ordre 2, est par conséquent à utiliser avec précaution au risque de constater des aberrations lors du mosaïquage.

### **Les méthodes de ré-échantillonnage**

Au cours d'une correction géométrique, la position du centre de chaque pixel de l'image d'arrivée est calculée dans l'image source. Il est alors rare que le centre de ce pixel tombe au milieu d'un pixel source. Plusieurs manières existent alors pour calculer la valeur attribuée au pixel d'arrivée (SIMONNEAUX, 1998b) :

- "Le plus proche voisin" : méthode consistant à choisir la valeur du pixel de l'image source;
- "L'interpolation bilinéaire" : méthode prenant en compte les quatre pixels les plus proches et interpolant linéairement la nouvelle valeur en fonction des distances;

<sup>67</sup> Degré 1 :  $X_{corr} = aX + bY + c$  et  $Y_{corr} = dX + eY + f$  ; Au minimum, 3 points de calage sont alors nécessaires pour estimer les 6 paramètres.

Degré 2 :  $X_{corr} = aX^2 + bY^2 + cXY + dY + eX + f$  et  $Y_{corr} = gX^2 + hY^2 + iXY + jY + kX + l$ . 6 points au minimum doivent être saisis pour définir les 12 inconnus.

<sup>68</sup> Degré 1 (sur X) :  $X_{corr} = aX + bY + cXY + d$  et  $Y_{corr} = eX + fY + gXY + h$  ; Au minimum, 4 points de calage sont nécessaires pour estimer les 8 paramètres, etc.

<sup>69</sup> Construction d'un réseau de triangles reliant les points proches. Un modèle de déformation est alors calculé pour chaque paire de triangles et appliqué uniquement aux pixels intérieurs du triangle. Cette correction, bien que fastidieuse, convient bien aux images très déformées, ce qui n'est pas le cas dans notre projet.

- "L'interpolation bicubique" : méthode prenant en compte les 16 pixels les plus proches et interpolant la nouvelle valeur par des fonctions d'ordre 3.

Parmi les méthodes citées, seule celle du plus proche voisin sera retenue lors du géoréférencement des cartes et des photos, car elle s'avère être la plus simple et la plus rapide. Les deux autres méthodes plus précises ne présentent pas d'intérêt pour notre travail (création de couches de fonds panchromatiques et cartographiques). En revanche, dans le cas de traitements d'image satellitaire multi-canal, elles peuvent être très utiles.

## **ANNEXE 10 – SAISIE DES POINTS D'AMER ET CALCUL DES RMS POUR LES IMAGES GEOREFERENCEES**

### **IMAGES CARTES**

<b>Nom de fichier</b>	<b>Nombre d'amers saisis</b>	<b>RMS</b>	<b>Méthode</b>
<b>Haffouz.txt</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>d° 1, plus proche voisin</b>
<b>Shbika1.txt</b>	<b>5</b>	<b>0.486</b>	<b>d° 1, plus proche voisin</b>
<b>Shbika2.txt</b>	<b>5</b>	<b>0.396</b>	<b>d° 1, plus proche voisin</b>
<b>Shbika3.txt</b>	<b>5</b>	<b>0.284</b>	<b>d° 1, plus proche voisin</b>
<b>Nasralla.txt</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>d° 1, plus proche voisin</b>
<b>Kairouan.txt</b>		<b>0.154728</b>	<b>d° 1, plus proche voisin</b>

### **PHOTOS**

<b>Nom de fichier</b>	<b>Nombre d'amers saisis</b>	<b>RMS</b>	<b>Méthode</b>
<b>C8B_14.txt</b>	<b>17</b>	<b>14.538896</b>	<b>d° 1, plus proche voisin</b>
<b>C8B_15.txt</b>	<b>24</b>	<b>8.834915</b>	<b>d° 1, plus proche voisin</b>
<b>C8B_16.txt</b>	<b>23</b>	<b>9.518124</b>	<b>d° 1, plus proche voisin</b>
<b>C8B_17.txt</b>	<b>24</b>	<b>6.461571</b>	<b>d° 1, plus proche voisin</b>
<b>C9_23a.txt</b>	<b>29</b>	<b>9.923272</b>	<b>d° 1, plus proche voisin</b>
<b>C9_23b.txt</b>	<b>16</b>	<b>12.816087</b>	<b>d° 1, plus proche voisin</b>
<b>C9_24.txt</b>	<b>22</b>	<b>10.563313</b>	<b>d° 1, plus proche voisin</b>
<b>C9_25.txt</b>	<b>20</b>	<b>8.966076</b>	<b>d° 1, plus proche voisin</b>
<b>C10_22.txt</b>	<b>26</b>	<b>14.310291</b>	<b>d° 1, plus proche voisin</b>
<b>C10_23.txt</b>	<b>31</b>	<b>9.676570</b>	<b>d° 1, plus proche voisin</b>

La RMS est exprimée en nombre de pixel. La taille du pixel est de 1,25 sur 1,25 m dans la réalité.

**ANNEXE 11 – ASSEMBLAGE DES PHOTOS**

<b>Noms des fichiers photos mosaïquées</b>	<b>Périmètres Publics Irrigués</b>
C9_23ba_24_d1.img	Karma I & II (1969-70) Hir El Borj (1969-70) El Haouareb (1993) Eiloussif (1969-70) Hir Bouali (1969-70) Draa Affene (1969-70)
C9_24_25_26_d1.img	Sidi Ali Ben Salem I, II & III (1955-56) El Mjabraa (1969-70) Bled Abida (1969-70) El Melalsa : AIC (1993)
C8b_16_17_C9_24_25.img	Chebika ouest et est (1955-56) El Agiffre (1969-70) Henchir Jelna (1985)

## **ANNEXE 12 – LES FILTRES D'IDRISI**

Sources : Aide en ligne d'Idrisi Version 2 pour Windows

FILTRES (Convolution) modifie la valeur de tous les pixels d'une image en se basant sur la valeur originelle du pixel étudié et celle de ses huit voisins immédiats. La nature de cette transformation dépend des valeurs contenues dans une matrice 3\*3, constituant le noyau du filtre. Le pixel et ses huit voisins sont multipliés par la valeur correspondante des coefficients de la matrice, et le résultat de cette opération détermine la nouvelle valeur du pixel. FILTRES propose certaines options :

- (1) : filtre moyen (passe-bas)
- (2) : filtre médian
- (3) : filtre modal
- (4) : filtre rehausseur de contours
- (5) : filtre gradient (passe-haut)
- (6) : filtre défini par l'utilisateur

Les opérations de filtrage sont appliquées dans différents buts. Les filtres moyens sont communément utilisés pour généraliser une image en lissant ses valeurs. Les filtres médians sont un excellent moyen d'éliminer les bruits aléatoires contenus dans une image. Les filtres modaux permettent de combler les trous existant entre les polygones lors des procédures de conversion vecteur-raster. Les filtres détecteurs de contours mettent en évidence les variations importantes dans une surface continue, tandis que les filtres passe-haut mettent en évidence les zones de changements brutaux par rapport aux zones de faibles variations.

## ANNEXE 13 – EXEMPLE DE PROCEDURE EVENEMENTIELLE CREEE POUR LE FORMULAIRE PRISE D'EAU GENERAL EN VISUAL BASIC

Option Compare Database

Option Explicit

Private Sub Form\_Current()

'mise en place des variables

Dim Typ As Variant

'affectation des variables

Typ = Me![Type\_PE]

'niveau d'action

If Typ = "Sondage à bras" Then

Code\_PPE.Visible = True

Code\_PPE.Enabled = True

Puit\_PE\_ID\_PPE.Visible = True

Puit\_PE\_ID\_PPE.Enabled = True

Nom\_PPE.Visible = True

Nom\_PPE.Enabled = True

Puit\_PE\_No\_pa.Visible = True

Puit\_PE\_No\_pa.Enabled = True

Nb\_PA.Visible = True

Nb\_PA.Enabled = True

Puit\_PE\_Nom\_proprio.Visible = True

Puit\_PE\_Nom\_proprio.Enabled = True

Date\_création\_PPE.Visible = True

Date\_création\_PPE.Enabled = True

Date\_dernière\_modif\_PPE.Visible = True

Date\_dernière\_modif\_PPE.Enabled = True

Puit\_PE\_X\_coord.Visible = True

Puit\_PE\_X\_coord.Enabled = True

Puit\_PE\_Y\_coord.Visible = True

Puit\_PE\_Y\_coord.Enabled = True

Puit\_PE\_Lat°.Visible = True

Puit\_PE\_Lat°.Enabled = True

Puit\_PE\_Long°.Visible = True

Puit\_PE\_Long°.Enabled = True

Prof\_max\_PPE.Visible = True

Prof\_max\_PPE.Enabled = True

Cote\_TN\_PPE.Visible = True

Cote\_TN\_PPE.Enabled = True

Puit\_PE\_Date\_dernière\_saisie.Visible = True

Puit\_PE\_Date\_dernière\_saisie.Enabled = True

End If

If Typ <> "Sondage à bras" Then

Code\_PPE.Visible = False

Code\_PPE.Enabled = False  
Puit\_PE\_ID\_PPE.Visible = False  
Puit\_PE\_ID\_PPE.Enabled = False  
Nom\_PPE.Visible = False  
Nom\_PPE.Enabled = False  
Puit\_PE\_No\_pa.Visible = False  
Puit\_PE\_No\_pa.Enabled = False  
Nb\_PA.Visible = False  
Nb\_PA.Enabled = False  
Puit\_PE\_Nom\_proprio.Visible = False  
Puit\_PE\_Nom\_proprio.Enabled = False  
Date\_création\_PPE.Visible = False  
Date\_création\_PPE.Enabled = False  
Date\_dernière\_modif\_PPE.Visible = False  
Date\_dernière\_modif\_PPE.Enabled = False  
Puit\_PE\_X\_coord.Visible = False  
Puit\_PE\_X\_coord.Enabled = False  
Puit\_PE\_Y\_coord.Visible = False  
Puit\_PE\_Y\_coord.Enabled = False  
Puit\_PE\_Lat°.Visible = False  
Puit\_PE\_Lat°.Enabled = False  
Puit\_PE\_Long°.Visible = False  
Puit\_PE\_Long°.Enabled = False  
Prof\_max\_PPE.Visible = False  
Prof\_max\_PPE.Enabled = False  
Cote\_TN\_PPE.Visible = False  
Cote\_TN\_PPE.Enabled = False  
Puit\_PE\_Date\_dernière\_saisie.Visible = False  
Puit\_PE\_Date\_dernière\_saisie.Enabled = False

N\_IRH.Visible = True  
N\_IRH.Enabled = True  
PE\_No\_pa.Visible = True  
PE\_No\_pa.Enabled = True  
PE\_Nom\_proprio.Visible = True  
PE\_Nom\_proprio.Enabled = True  
Date\_création.Visible = True  
Date\_création.Enabled = True  
Date\_dernière\_modif.Visible = True  
Date\_dernière\_modif.Enabled = True  
PE\_X\_coord.Visible = True  
PE\_X\_coord.Enabled = True  
PE\_Y\_coord.Visible = True  
PE\_Y\_coord.Enabled = True  
PE\_Lat°.Visible = True  
PE\_Lat°.Enabled = True  
PE\_Long°.Visible = True  
PE\_Long°.Enabled = True  
Prof\_PE.Visible = True  
Prof\_PE.Enabled = True  
Cote\_TN\_MNT.Visible = True  
Cote\_TN\_MNT.Enabled = True  
Prof\_min\_crepines.Visible = True

```
Prof_min_crepines.Enabled = True
Prof_max_crepines.Visible = True
Prof_max_crepines.Enabled = True
Type_usage.Visible = True
Type_usage.Enabled = True
Valeur_construc.Visible = True
Valeur_construc.Enabled = True
PE_Date_dernière_saisie.Visible = True
PE_Date_dernière_saisie.Enabled = True
End If
If Typ = Empty Then
  Code_PPE.Visible = False
  Code_PPE.Enabled = False
  Puit_PE_ID_PPE.Visible = False
  Puit_PE_ID_PPE.Enabled = False
  Nom_PPE.Visible = False
  Nom_PPE.Enabled = False
  Puit_PE_No_pa.Visible = False
  Puit_PE_No_pa.Enabled = False
  Nb_PA.Visible = False
  Nb_PA.Enabled = False
  Puit_PE_Nom_proprio.Visible = False
  Puit_PE_Nom_proprio.Enabled = False
  Date_création_PPE.Visible = False
  Date_création_PPE.Enabled = False
  Date_dernière_modif_PPE.Visible = False
  Date_dernière_modif_PPE.Enabled = False
  Puit_PE_X_coord.Visible = False
  Puit_PE_X_coord.Enabled = False
  Puit_PE_Y_coord.Visible = False
  Puit_PE_Y_coord.Enabled = False
  Puit_PE_Lat°.Visible = False
  Puit_PE_Lat°.Enabled = False
  Puit_PE_Long°.Visible = False
  Puit_PE_Long°.Enabled = False
  Prof_max_PPE.Visible = False
  Prof_max_PPE.Enabled = False
  Cote_TN_PPE.Visible = False
  Cote_TN_PPE.Enabled = False
  Puit_PE_Date_dernière_saisie.Visible = False
  Puit_PE_Date_dernière_saisie.Enabled = False

  N_IRH.Visible = False
  N_IRH.Enabled = False
  PE_No_pa.Visible = False
  PE_No_pa.Enabled = False
  PE_Nom_proprio.Visible = False
  PE_Nom_proprio.Enabled = False
  Date_création.Visible = False
  Date_création.Enabled = False
  Date_dernière_modif.Visible = False
  Date_dernière_modif.Enabled = False
  PE_X_coord.Visible = False
```

```
PE_X_coord.Enabled = False
PE_Y_coord.Visible = False
PE_Y_coord.Enabled = False
PE_Lat°.Visible = False
PE_Lat°.Enabled = False
PE_Long°.Visible = False
PE_Long°.Enabled = False
Prof_PE.Visible = False
Prof_PE.Enabled = False
Cote_TN_MNT.Visible = False
Cote_TN_MNT.Enabled = False
Prof_min_crepines.Visible = False
Prof_min_crepines.Enabled = False
Prof_max_crepines.Visible = False
Prof_max_crepines.Enabled = False
Type_usage.Visible = False
Type_usage.Enabled = False
Valeur_construc.Visible = False
Valeur_construc.Enabled = False
PE_Date_dernière_saisie.Visible = False
PE_Date_dernière_saisie.Enabled = False
End If
```

```
'mise en place des variables
  Dim Typ1 As Integer
'affectation des variables
  Typ1 = Me![Situation]
'chp Nom_PI invisible et inactif
  Nom_PI.Visible = False
  Nom_PI.Enabled = False
'Rateau d'action
  If Typ1 = 1 Then
    Nom_PI.Visible = True
    Nom_PI.Enabled = True
  End If
  If Typ1 = 2 Then
    Nom_PI.Visible = False
    Nom_PI.Enabled = False
  End If
End Sub
```

```
Private Sub Form_Open(Cancel As Integer)
'mise en place des variables
  Dim Typ As Integer
'affectation des variables
  Typ = Me![Situation]
'chp Nom_PI invisible et inactif
  Nom_PI.Visible = False
  Nom_PI.Enabled = False
'Rateau d'action
  If Typ = 1 Then
    Nom_PI.Visible = True
    Nom_PI.Enabled = True
```

## Annexe 13

---

```
End If
If Typ = 2 Then
    Nom_PI.Visible = False
    Nom_PI.Enabled = False
End If
End Sub

Private Sub HPI_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    Nom_PI.Visible = False
    Nom_PI.Enabled = False
End Sub

Private Sub ID_PE_LostFocus()
'ordre d'affichage des controles
    Situation.SetFocus
End Sub

Private Sub Situation_BeforeUpdate(Cancel As Integer)
'AFFICHAGE SS COND DE NOM_PI SELON VALEUR DE SITUATION
'mise en place des variables
    Dim Typ As Integer
'affectation des variables
    Typ = Me![Situation]
'chp Nom_PI invisible et inactif
    Nom_PI.Visible = False
    Nom_PI.Enabled = False
'Rateau d'action
    If Typ = 1 Then
        Nom_PI.Visible = True
        Nom_PI.Enabled = True
    End If
    If Typ = 2 Then
        Nom_PI.Visible = False
        Nom_PI.Enabled = False
    End If

End Sub

Private Sub Type_PE_BeforeUpdate(Cancel As Integer)
'mise en place des variables
    Dim Typ As String
'affectation des variables
    Typ = Me![Type_PE]
'rateau d'action
    If Typ = "Sondage à bras" Then
        Code_PPE.Visible = True
        Code_PPE.Enabled = True
        Puit_PE_ID_PPE.Visible = True
        Puit_PE_ID_PPE.Enabled = True
        Nom_PPE.Visible = True
        Nom_PPE.Enabled = True
        Puit_PE_No_pa.Visible = True
        Puit_PE_No_pa.Enabled = True
    End If
End Sub
```

Nb\_PA.Visible = True  
Nb\_PA.Enabled = True  
Puit\_PE\_Nom\_proprio.Visible = True  
Puit\_PE\_Nom\_proprio.Enabled = True  
Date\_création\_PPE.Visible = True  
Date\_création\_PPE.Enabled = True  
Date\_dernière\_modif\_PPE.Visible = True  
Date\_dernière\_modif\_PPE.Enabled = True  
Puit\_PE\_X\_coord.Visible = True  
Puit\_PE\_X\_coord.Enabled = True  
Puit\_PE\_Y\_coord.Visible = True  
Puit\_PE\_Y\_coord.Enabled = True  
Puit\_PE\_Lat°.Visible = True  
Puit\_PE\_Lat°.Enabled = True  
Puit\_PE\_Long°.Visible = True  
Puit\_PE\_Long°.Enabled = True  
Prof\_max\_PPE.Visible = True  
Prof\_max\_PPE.Enabled = True  
Cote\_TN\_PPE.Visible = True  
Cote\_TN\_PPE.Enabled = True  
Puit\_PE\_Date\_dernière\_saisie.Visible = True  
Puit\_PE\_Date\_dernière\_saisie.Enabled = True

N\_IRH.Visible = False  
N\_IRH.Enabled = False  
PE\_No\_pa.Visible = False  
PE\_No\_pa.Enabled = False  
PE\_Nom\_proprio.Visible = False  
PE\_Nom\_proprio.Enabled = False  
Date\_création.Visible = False  
Date\_création.Enabled = False  
Date\_dernière\_modif.Visible = False  
Date\_dernière\_modif.Enabled = False  
PE\_X\_coord.Visible = False  
PE\_X\_coord.Enabled = False  
PE\_Y\_coord.Visible = False  
PE\_Y\_coord.Enabled = False  
PE\_Lat°.Visible = False  
PE\_Lat°.Enabled = False  
PE\_Long°.Visible = False  
PE\_Long°.Enabled = False  
Prof\_PE.Visible = False  
Prof\_PE.Enabled = False  
Cote\_TN\_MNT.Visible = False  
Cote\_TN\_MNT.Enabled = False  
Prof\_min\_crepines.Visible = False  
Prof\_min\_crepines.Enabled = False  
Prof\_max\_crepines.Visible = False  
Prof\_max\_crepines.Enabled = False  
Type\_usage.Visible = False  
Type\_usage.Enabled = False  
Valeur\_construc.Visible = False  
Valeur\_construc.Enabled = False

## Annexe 13

---

```
PE_Date_dernière_saisie.Visible = False
PE_Date_dernière_saisie.Enabled = False
End If

If Typ <> "Sondage à bras" Then
  Code_PPE.Visible = False
  Code_PPE.Enabled = False
  Puit_PE_ID_PPE.Visible = False
  Puit_PE_ID_PPE.Enabled = False
  Nom_PPE.Visible = False
  Nom_PPE.Enabled = False
  Puit_PE_No_pa.Visible = False
  Puit_PE_No_pa.Enabled = False
  Nb_PA.Visible = False
  Nb_PA.Enabled = False
  Puit_PE_Nom_proprio.Visible = False
  Puit_PE_Nom_proprio.Enabled = False
  Date_création_PPE.Visible = False
  Date_création_PPE.Enabled = False
  Date_dernière_modif_PPE.Visible = False
  Date_dernière_modif_PPE.Enabled = False
  Puit_PE_X_coord.Visible = False
  Puit_PE_X_coord.Enabled = False
  Puit_PE_Y_coord.Visible = False
  Puit_PE_Y_coord.Enabled = False
  Puit_PE_Lat°.Visible = False
  Puit_PE_Lat°.Enabled = False
  Puit_PE_Long°.Visible = False
  Puit_PE_Long°.Enabled = False
  Prof_max_PPE.Visible = False
  Prof_max_PPE.Enabled = False
  Cote_TN_PPE.Visible = False
  Cote_TN_PPE.Enabled = False
  Puit_PE_Date_dernière_saisie.Visible = False
  Puit_PE_Date_dernière_saisie.Enabled = False

  N_IRH.Visible = True
  N_IRH.Enabled = True
  PE_No_pa.Visible = True
  PE_No_pa.Enabled = True
  PE_Nom_proprio.Visible = True
  PE_Nom_proprio.Enabled = True
  Date_création.Visible = True
  Date_création.Enabled = True
  Date_dernière_modif.Visible = True
  Date_dernière_modif.Enabled = True
  PE_X_coord.Visible = True
  PE_X_coord.Enabled = True
  PE_Y_coord.Visible = True
  PE_Y_coord.Enabled = True
  PE_Lat°.Visible = True
  PE_Lat°.Enabled = True
  PE_Long°.Visible = True
```

```
PE_Long°.Enabled = True
Prof_PE.Visible = True
Prof_PE.Enabled = True
Cote_TN_MNT.Visible = True
Cote_TN_MNT.Enabled = True
Prof_min_crepines.Visible = True
Prof_min_crepines.Enabled = True
Prof_max_crepines.Visible = True
Prof_max_crepines.Enabled = True
Type_usage.Visible = True
Type_usage.Enabled = True
Valeur_construc.Visible = True
Valeur_construc.Enabled = True
PE_Date_dernière_saisie.Visible = True
PE_Date_dernière_saisie.Enabled = True
End If
```

```
End Sub
```