

Université Jean Monnet de St Etienne
École nationale d'ingénieurs de St Etienne
Mémoire de MASTER II en Sciences Humaines et Sociales
MENTION Territoires, patrimoines et environnement
SPECIALITE S.I.G. et gestion de l'espace
FINALITE Recherche

APPROCHE GEOMATIQUE DES **TERRITOIRES SOCIO HYDRAULIQUES**

**Essai appliqué à une Association d'Usagers de l'Eau
Agricole du Haouz de Marrakech sous SavGIS**

Mémoire présenté par Romain WALCKER

Sous les co-directions scientifiques de :

**Thierry JOLIVEAU, enseignant chercheur en géographie à l'université Jean
Monet de St Etienne**

**Thierry RUF, chargé de recherche pour l'Institut de Recherche pour le
Développement**

Soutenu le 15 Septembre 2006 à St Etienne

REMERCIEMENTS

Je remercie en premier lieu mes directeurs scientifiques : Thierry RUF, Thierry JOLIVEAU, Mohamed El FAÏZ.

Je remercie particulièrement Lahcen OUZINE qui a mis à ma disposition les moyens nécessaires à l'étude et m'a conseillé sur mon travail.

Je remercie les personnes qui m'ont aidé dans ma démarche scientifique : Thierry JOLIVEAU, Thierry RUF, Bernard LORTIC, Vincent SIMONNEAUX, Bernard DUPUIS.

Je remercie particulièrement le Farak de Barja ainsi que Mustafa.

Je remercie les étudiants avec qui j'ai pu échanger des idées et avancer dans ma réflexion : Mohamed EL GOUCH, Hamid WAHADOU, Perrine.

Je remercie particulièrement les personnes qui m'ont accueillies et ont fait que ce séjour fut une expérience humaine enrichissante : Hamid, Fouad, Abdou, Fouad, Mustafa, Mohamed, Hassan, Hussein...

Important : le lecteur est averti que la scène satellite SPOT du 23/07/2002 que nous avons utilisé dans ce rapport est soumise à un Copyright du projet SUDMED (CESBIO IRD)

I. INTRODUCTION.....	9
A. LES TERRITOIRES SOCIO HYDRAULIQUES DU HAOUZ DE MARRAKECH : EXPOSÉ DU PROBLÈME.....	9
B. LES OBJECTIFS DU STAGE.....	10
C. APPROCHE ENVISAGÉE.....	11
II. MODÉLISATION DES OBJETS DE RECHERCHE.....	13
A. CADRE THÉORIQUE DE LA MODÉLISATION.....	13
1. <i>La méthode Hypergraphs Based Data Structure</i>	14
2. <i>La modélisation multi-agent</i>	16
a) Qu'est ce qu'un SMA ?.....	16
b) Les SMA et notre problématique.....	18
(1) Le mécanisme des transactions sur les droits d'eau.....	19
(2) Les chemins de l'eau dans le réseau.....	19
c) Comment mettre en place un SMA ?.....	20
B. ETUDE DES OBJETS À MODÉLISER.....	20
1. <i>Le système d'acteurs</i>	21
a) Les agents Etatiques.....	21
b) Les agents exploitants.....	22
c) Les agents communautaires.....	23
d) Les agents externes.....	25
2. <i>Les structures physiques du réseau</i>	25
a) La théorie des graphes.....	26
b) La géographie des réseaux.....	28
(1) Le réseau hydrographique naturel.....	28
(2) Les infrastructures du réseau de la Grande Hydraulique.....	29
(3) Les infrastructures du réseau gravitaire de la Petite et Moyenne Hydraulique.....	31
(4) Les infrastructures de mobilisation des eaux souterraines.....	32
c) Les limites du réseau.....	33
3. <i>Les mailles hydrauliques formées par la distribution de l'eau et des droits</i>	34
(a) Les unités formées par le partage de l'eau régularisée sur l'oued N'Fis.....	35
(b) Les unités formées par la distribution de l'eau sous pression.....	37
(c) Les quartiers formés par le partage de l'eau de crue.....	38
4. <i>Le maillage territorial</i>	38
5. <i>Le système de production</i>	39
6. <i>Le milieu biophysique</i>	40
a) La géomorphologie.....	41
b) Le climat.....	41
c) L'hydrologie.....	42
C. DU MODEL CONCEPTUEL DE DONNÉES VERS L'IMPLÉMENTATION LOGICIELLE.....	43
1. <i>Le MCD</i>	43
2. <i>Principes généraux du MLD pour SAVGIS</i>	47
III. ETAT DES LIEUX SUR LES DONNÉES.....	49
A. LES ORGANISMES PRODUCTEURS DE DONNÉES GÉOGRAPHIQUES.....	49
1. <i>L'ORMVAH</i>	49
2. <i>L'ABHT</i>	49
3. <i>L'IRD CESBIO et le projet SUDMED</i>	51
4. <i>Les jmâa locales</i>	51
5. <i>Un partenariat dans un projet commun ?</i>	52
B. LOCALISATION ET CARACTÉRISATION DES DONNÉES UTILES.....	52
1. <i>Les données du fond géographique</i>	52
a) Les cartes topographiques.....	52
b) L'imagerie satellite.....	52
c) Les images aériennes.....	53
d) Les élévations.....	54
2. <i>Les données sur le maillage territorial</i>	54
a) Les territoires coutumiers.....	54
b) Les territoires administratifs.....	54
c) Le parcellaire.....	55
3. <i>Les données sur les réseaux physiques</i>	55
a) Le réseau hydrographique naturel.....	55
b) Les infrastructures du réseau gravitaire.....	55
c) Les infrastructures du réseau sous-pression.....	56

d) Les ouvrages de prélèvement d'eau souterraine.....	56
4. <i>Les données sur limites géographiques des réseaux</i>	57
a) Les limites des bassins versants.....	57
b) Les limites des périmètres irrigués au gravitaires.....	57
c) Les limites des périmètres irrigués sous-pression.....	57
5. <i>Les données sur la ressource en eau et ses règles de partage</i>	58
a) Le partage de l'eau sous-pression.....	58
b) Le partage de l'eau de séguia régularisée.....	58
c) Le partage de l'eau de crue.....	58
6. <i>Les données sur les systèmes de production</i>	59
a) L'exploitation.....	59
b) Les cultures.....	60
c) Le milieu biophysique.....	60
C. DES DONNÉES DISPONIBLES INSUFFISANTES : QUELLE DÉMARCHÉ PRÉVOIR ?.....	61
1. <i>La mise au format des données présentes à l'ORMVAH</i>	61
2. <i>Le recueil des données sur le secteur traditionnel</i>	61
IV. CONSTRUCTION D'UNE MAQUETTE SOUS SAVGIS.....	63
A. CHOIX DU TERRAIN D'ÉTUDE.....	63
B. MISE EN PLACE DE L'ENVIRONNEMENT DE TRAVAIL.....	63
1. <i>Choix d'un référentiel géographique</i>	63
2. <i>Choix d'un outil adapté : SAVGIS</i>	65
a) Architecture de SAVGIS.....	65
b) Concepts de base.....	68
C. CONSTITUTION DE LA BASE SOUS ACCESS ET SAVATECA.....	69
D. TRAITEMENT ET IMPORTATION DES DONNÉES.....	75
E. EXPLOITATION DES INFORMATIONS SOUS SAVANE.....	79
1. <i>Le relief</i>	79
2. <i>Composition colorée et indices de végétation SPOT</i>	82
3. <i>Essai de cartographie de l'occupation des sols</i>	86
4. <i>Répondre aux questions de base par des jointures</i>	87
5. <i>Cartographier les unités socio hydrauliques pertinentes</i>	89
a) Les unités socio hydrauliques modernes.....	89
b) Les unités socio hydrauliques coutumières.....	90
V. CONCLUSION.....	93
VI. BIBLIOGRAPHIE.....	95
VII. ANNEXES.....	101
A. SYNOPSIS DES CLASSES DU MCD.....	101
B. SYNOPSIS DÉTAILLÉ DES MANIPULATIONS RÉALISÉES SUR SAVGIS.....	103
1. <i>Construction de la base de données</i>	103
a) Création d'une base TAMSGLEFT sous SAVATECA.....	103
b) Intégration des fichiers Images.....	106
(1) Les cartes Topographiques.....	106
(2) L'image satellite SPOT.....	107
(3) Les photographies aériennes.....	109
(4) Les plans du parcellaire N4.....	110
(5) Le Model Numérique de Terrain.....	110
(6) Les plans du réseau sous pression N4.....	112
2. <i>Digitalisation des objets pertinents sous SAVEDIT</i>	112
a) Les objets linéaires : routes, canaux, conduites.....	112
(1) Phase 1.....	113
(2) Phase 2.....	114
3. <i>Importation du fichier Forages de l'ABHT</i>	114
4. <i>Traitement des fichiers de données attributaires</i>	117
5. <i>Intégration graphique et descriptive</i>	122
6. <i>Exploitation de la base de données</i>	124
a) Construction des blocs hydrauliques du secteur N4.....	124
b) Construction de quartiers par borne.....	125
c) Construction de quartiers par fraction d'usagers.....	125
C. SCHÉMA DE LA BASE MAQUETTE.....	126
D. ANNEXE CD-ROM.....	128

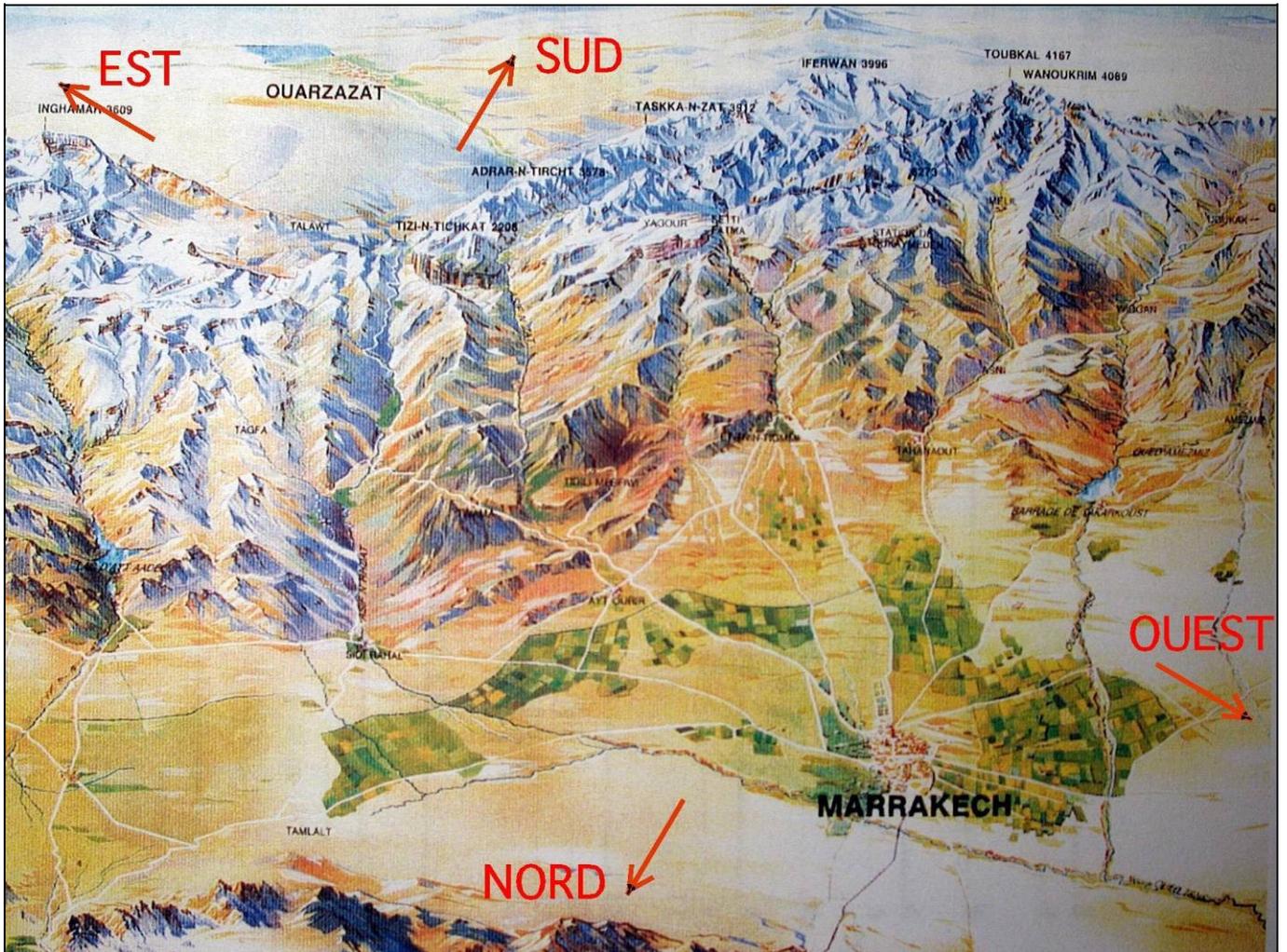


Figure 1 : Représentation du Haouz de Marrakech (Document T. RUF)

I.Introduction

A.Les territoires socio hydrauliques du Haouz de Marrakech : exposé du problème

Le Haouz de Marrakech est une vaste plaine agricole d'environ 7000km², sorte de huerta entourant la ville de Marrakech. Le captage et la distribution de l'eau marquent profondément l'organisation territoriale de cette région. Sans les ressources en eau superficielles et profondes venues de l'Atlas, cette région ressemblerait sans doute à « un désert de galets et d'alluvions limoneux » (cité dans OUZINE, 2006). Dans des conditions climatiques de type aride, les besoins en eau pour les cultures ont très tôt poussés les Hommes à régler l'accès à la terre irrigable, ainsi que les partages d'eau successifs et décalés dans le temps et dans l'espace. Les modalités de ces partages ont emprunté à la fois aux cultures locales et aux emprises des pouvoirs politiques. La mobilisation de l'eau venue de l'Atlas se fait grâce à un système complexe d'infrastructures de générations différentes. Chaque type d'infrastructure applique un mode de gestion particulier, comme marqué par l'idéologie de la société qui l'a conçu. Hérité de la période coloniale, le barrage d'accumulation de *Lala Takerkoust*, d'une capacité de retenue de 52 Mm³, contrôle le débit de l'oued *N'Fis*. L'Etat marocain gère ainsi la production d'électricité et l'alimentation de l'ensemble du périmètre irrigué par le *N'Fis*. Le système d'irrigation se compose d'une part d'un réseau de *seguia* (XII^{ème} siècle), relevant en grande partie d'une gestion coutumière de type communautaire. Ces canaux, le plus souvent encore en terre, sont branchés au fil de l'oued, et se subdivisent en une arborescence de *mesref*, quadrillant minutieusement le terroir irrigué. Les groupements d'agriculteurs en assurent la gestion selon un modèle « traditionnel » hérité de leurs ancêtres. La notion de « droit d'eau », hérité et inaliénable, est à la base de ce mode de gestion. D'autre part, un réseau d'eau sous-pression (dit Grande Hydraulique), mis en place par l'Etat à la fin des années 1990, relève d'une gestion « moderne » centralisée. L'eau, en provenance du barrage, est distribuée grâce à un réseau de bornes fontaines alimentées par des conduites souterraines. La gestion de ce réseau est organisée par l'Etat grâce à l'Office Régional de Mise en Valeur Agricole du Haouz. Le droit à l'eau est fonction de la dotation allouée par le barrage, suivant les réserves, en rapport avec la superficie de la parcelle à irriguer.

Depuis quelques années, sous l'influence de bailleurs de fonds, l'Etat cherche à se désengager en mettant progressivement en place les cadres d'une gestion participative de l'irrigation (GPI) avec la constitution d'associations d'usagers (AUEA). Parallèlement à ce système dual, les ouvrages de prélèvement de l'eau souterraine, relevant d'une gestion plus « anarchique » de type individuelle, se développent. La superposition physique et sociale de ces différents réseaux complexifie la coordination hydraulique et pose la question de leur intégration raisonnée dans un processus de développement agricole. Car l'espace agricole du Haouz est aujourd'hui dans une phase de mutation accélérée. Traditionnellement mis en valeur par une agriculture vivrière basée sur le modèle céréale/olivier, la modernisation des exploitations, engendrées par le contexte économique et social, tend en effet vers l'introduction systématique de nouvelles cultures nettement plus exigeantes en eau (cultures maraîchères notamment). La plaine du Haouz de Marrakech est une des régions irriguées les plus anciennes du pays (ROCLE, 2005). Son patrimoine hydraulique pourrait permettre à son agriculture de se développer confortablement. Le déficit consiste à intégrer l'ensemble des modes d'irrigation dans un modèle de développement concerté.

L'équipe THERMES de l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD), en partenariat avec l'Office de Mise en Valeur Agricole du Haouz et l'université des sciences économiques et sociales Cadi Ayyad de Marrakech, mène des recherches sur diverses problématiques autour de la gestion sociale de l'eau d'irrigation. Nous pensons que la complexité de la situation socio hydraulique de cette zone, ancrée dans l'espace géographique, peut être analysée à travers l'emploi d'un système d'information géographique, couplé ou non à un système multi agent. Le double objectif est de rendre compte de la diversité en localisant les objets et les acteurs ainsi qu'en représentant leurs dynamiques, leurs jeux, mais aussi de chercher à modéliser cette réalité pour la comparer, la tester et la simuler pour mieux appréhender et proposer des pistes de réflexion. Dans quelle mesure peut-on mettre en place un système d'outils géomatiques sur la zone ? Que peuvent concrètement apporter de tels outils aux chercheurs et aux développeurs ?

B. Les objectifs du stage

Initialement, nous avons pu dégager, avec les partenaires du stage, 3 objectifs principaux :

- Etudier les unités socio spatiales de gestion de l'eau agricole et de leurs dynamiques avec l'emploi d'un SIG ;
- Etudier l'évolution de l'occupation des sols en relation avec l'évolution des systèmes d'irrigation ;
- Développer d'une réflexion méthodologique sur la construction d'un SIG à l'échelle de tous les périmètres gérés par l'ORMVAH.

L'intérêt majeur était d'une part d'élaborer un support à la réflexion et d'autre part, de construire un système d'interrogation et d'analyse qui puisse développer une approche critique et analytique de la situation actuelle. Nous nous sommes cependant heurté à un certain nombre de problèmes dont le dénominateur commun a été le manque de données. Le cadre du Master recherche a également influencé les objectifs vers la perspective d'une modélisation des objets et des acteurs dans un cadre théorique bien défini. Ainsi les objectifs du stage se sont modifiés suivant ce contexte, et sont devenus :

- Modéliser les objets de recherche ;
- Identifier et caractériser les données présentes et manquantes pour savoir comment envisager leur récupération et leur intégration dans un SIG ;
- Définir une méthodologie générale pour construire un SIG sur la gestion socio spatiale de l'irrigation sur la *segua Tamesgleft*, généralisable à l'échelle du Haouz ;
- Tester la méthodologie sur une maquette servant d'exemple.

C.Approche envisagée

Nous avons choisit d'aborder la problématique de l'approche géomatique des territoires socio hydraulique du Haouz à travers l'étude de la *segua Tamesgleft*, située sur le périmètre irrigué de la rive gauche de l'oued N'Fis (Cf. Figure 1 et 2), à une trentaine de kilomètres à l'ouest de la ville de Marrakech. Après une phase exploratoire et bibliographique, nous nous sommes concentrés sur la **modélisation spatiale** (II) des objets de recherche, en essayant d'intégrer au maximum les acteurs dans le model. Ainsi nous avons découvert que la modélisation multi agent offre

d'intéressantes perspectives de recherche dans le domaine de la modélisation des dynamiques spatiales et des jeux d'acteurs. La phase de **recupération des données (III)** a consisté par une enquête auprès des divers acteurs de la zone d'étude. Cette étape nous a fait prendre conscience de l'important manque d'informations chiffrées et localisées sur une grande partie de la problématique, et surtout dans le domaine de l'irrigation « traditionnelle ». Nous avons testé les modalités techniques de la construction d'un SIG avec l'élaboration d'une **maquette (IV)** sur le territoire d'une Association d'Usagers de l'Eau Agricole (AUEA) présentant les principaux choix méthodologiques et traitements envisagés.

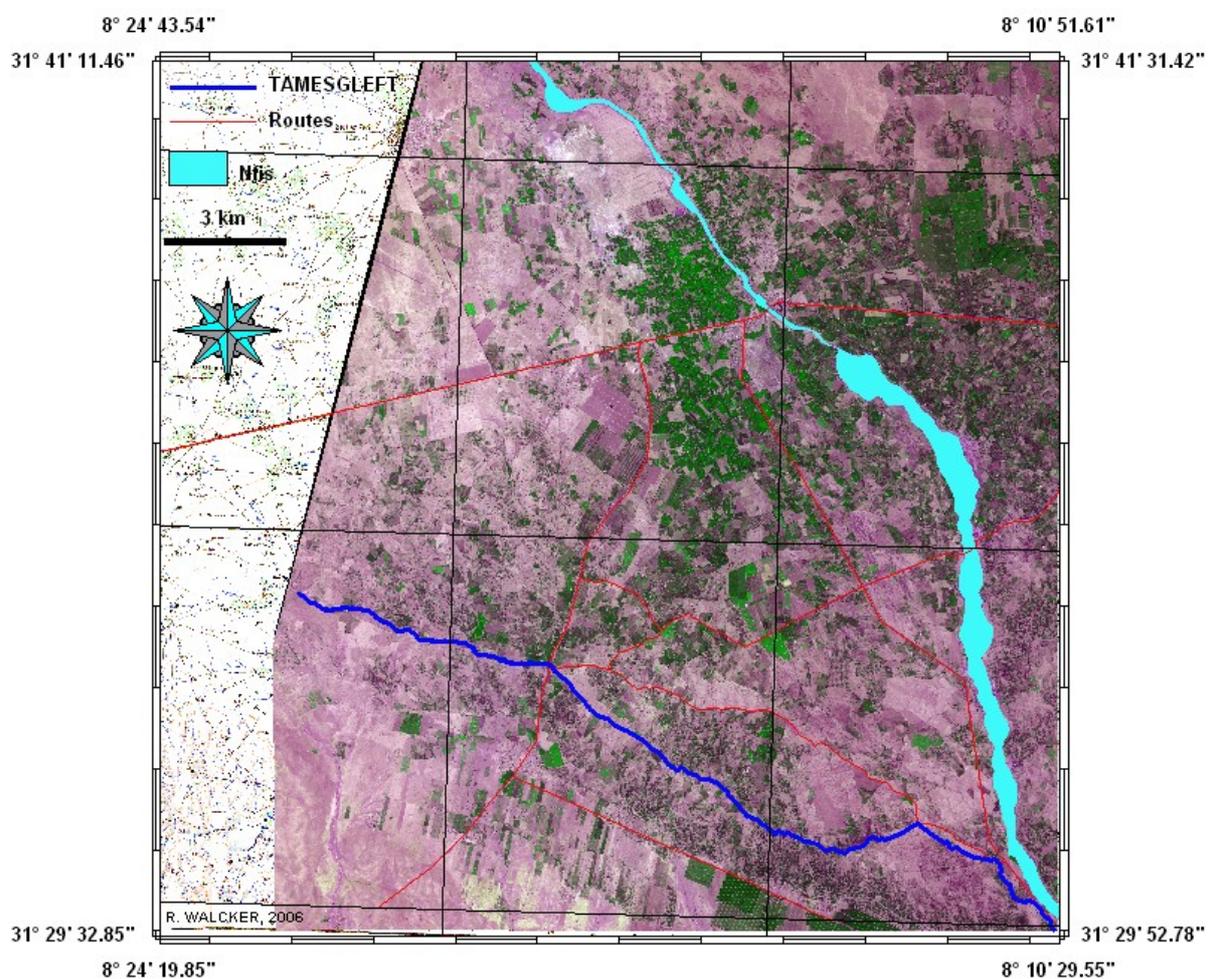


Figure 2 : Spatiocarte SPOT du 23/07/02 (R. WALCKER, 2006). La question du périmètre irrigué par la seguia est d'emblé posée.

II. Modélisation des objets de recherche

Nous présenterons dans les paragraphes suivants les objets physiques et les acteurs susceptibles de prendre place dans un système d'information. Il s'agit de l'étape de modélisation spatiale qui est normalement le travail du thématique. Nous modéliserons par la suite les classes, attributs et liens selon la méthode Hypergraphs Based Data Structure, afin de former un modèle de la réalité correspondant au cadre de notre problématique.

A. Cadre théorique de la modélisation

La première étape, essentielle dans le processus de construction d'un Système d'Information Géographique (SIG), est la modélisation spatiale des objets de recherche. « La modélisation a pour but de structurer l'information spatiale (géographique) et/ou aspatiale (thématique) en vue de l'acquérir (modélisation logique des données), de la stocker (modélisation physique des données), ainsi que de la gérer (Sciences de l'informatique), de la traiter, de la manipuler, de la créer, de la recréer puis de pouvoir l'interroger, l'analyser, faire des simulations et créer des scénarii en vue de vérifier et de tester des hypothèses émises au départ (théorie de l'information spatiale) » (PIROT, 2003). Le concept même de SIG sous-tend la notion de modélisation. Un SIG, ou une Base de Données, est en effet un modèle de la réalité. Il en représente imparfaitement une partie, d'une manière plus ou moins partisane. « Le lieu précis de [l'] intervention sociale a des particularités et des spécificités dont [on] doit tenir compte, dont [on] est solidaire. [L'] action ne descend plus d'un savoir théorique vers une réalité soumise, elle remonte et fait émerger une configuration plus riche, plus complexe et plus vivifiante qu'une simple instanciation de règles générales. [On] est pris dans un engagement. Aussi [la] position est plus claire, [on] n'est plus un scientifique de second rang, [on] est constructeur de raisons pour agir et décider. Les modèles qu' [on] élabore sont donc des représentations partisans, je dirais au bon sens du terme, c'est-à-dire le choix d'un parti au sein de possibilités d'expressions multiples » (BOULEAU, 1999). Dans le monde des Systèmes d'Information Géographique, il existe plusieurs niveaux de modélisation qui, ensemble, donnent naissance à un SIG. Les quatre niveaux de modélisation existants sont (Cf. figure 3):

- La modélisation spatiale

- Le modèle conceptuel
- La modélisation logique des données
- La modélisation physique des données

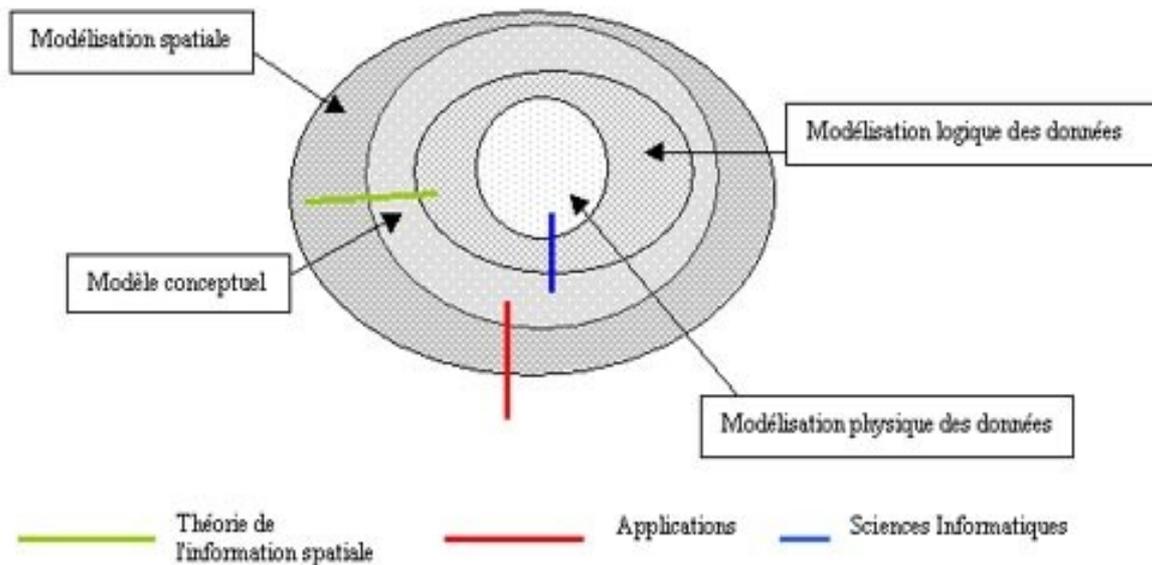


Figure 3 : Les quatre niveaux de modélisation (PIROT, 2003)

Le modélisateur de l'information géographique, se doit de respecter ces étapes. Aussi, plus qu'un outil de conception, le modèle est un outil de communication. Particulièrement dans la recherche interdisciplinaire, le modèle permet de présenter d'une manière relativement rapide, les tenants et aboutissants d'un travail de recherche. Il nous semble donc nécessaire de nous concentrer sur la modélisation de la réalité, figée ou dynamique, que l'on va en partie représenter dans ces paragraphes.

1.La méthode Hypergraphs Based Data Structure

La méthode HBDS (Hypergraphs Based Data Structure) est une méthode de modélisation des données relative à la théorie des hypergraphes. Elle a fait l'objet de la thèse du Professeur Bouillé en 1977. Nous avons choisit cette méthode de modélisation car elle offre l'avantage d'être graphiquement simple, donc les schémas de données sont très faciles à lire (Cf. Figure 5). Le modèle HBDS permet de mieux identifier l'ensemble des données (à la fois spatiales et thématiques) à collecter ou à créer, et qui seront par la suite organisées selon ce modèle. De plus, dans la perspective de la construction d'une maquette sous SAVGIS, la méthode HBDS semble être la mieux adaptée. En effet, la structuration des données sous SAVGIS

s'oriente vers le modèle objet par l'introduction de classes d'objets et de méthodes sur ces classes (SOURIS, HABERT).

Types abstraits de données HBDS (F. BOUILLÉ, 1977)	Définition
Objet	Il représente une entité du monde réel. C'est l'élément constituant de la classe .
Attribut	Il est une «composante d'un modèle conceptuel de données qui représente une caractéristique propre à un phénomène ou une caractéristique propre à une relation entre phénomènes» [7]. (<i>Vocabulaire de la Géomatique</i>)
Classe	Elle décrit un groupe d'entités (objets) ayant les mêmes propriétés (attributs) et une sémantique commune (<i>ex. : on ne peut pas associer des routes et des rivières</i>).
Lien	Il correspond à une relation qui associe des objets d'une même classe ou de classes distinctes ; il est orienté et possède une sémantique et des attributs.

Figure 4 : Les types abstraits de données selon la méthode HBDS (ARAB, 2005)

Dans la théorie des hypergraphes une **classe** est un ensemble d'éléments, appelés **objets**, qui ont des caractéristiques communes, appelées **attributs** de la classe. Les objets d'une classe peuvent également être en relation avec des objets de la même ou d'une autre classe grâce à la notion de lien entre classe. Un **lien** est donc un **arc** et une classe est une **arête** de cardinalité supérieure ou égale à 3. On peut regrouper des classes pour faire une **hyperclasse** portant les attributs et les liens communs à un ensemble de classes. Aussi, on peut regrouper les attributs d'une classe pour faire un **attribut composé**. Au niveau de leur représentation (Cf. figure 5), une classe est représentée par une ellipse. Un des foyers de l'ellipse représente un objet quelconque pour attacher les attributs et les liens de la classe. Les attributs de la classe sont représentés par des étiquettes. Les liens entre classes sont représentés par des flèches évidées.

La modélisation HBDS n'est pas proprement adaptée à la modélisation des acteurs et de leur comportement. De plus ce type de modélisation rend difficile la prise en compte de l'aspect dynamique de la réalité. Ce sont les raisons pour lesquelles nous pensons que les Systèmes Multi Agent peuvent apporter un complément intéressant.

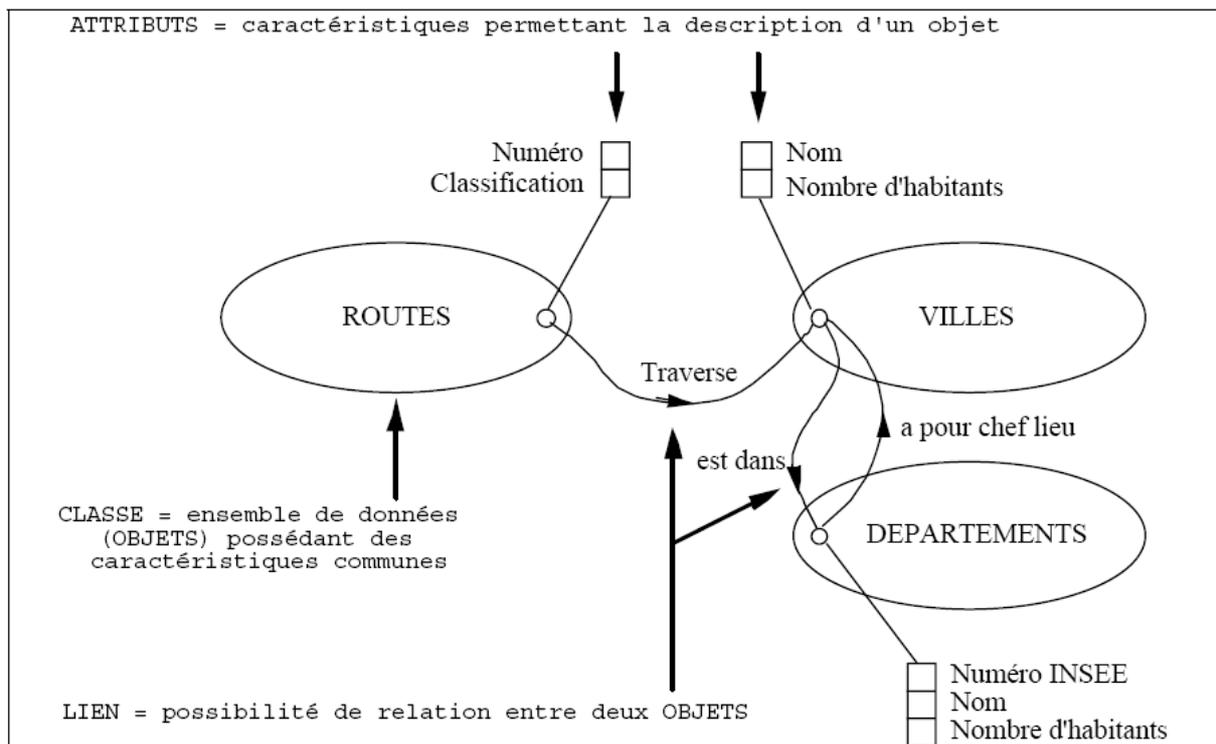


Figure 5 : Exemple de modèle HBDS (PELLE, 2002)

2.La modélisation multi-agent

L'objectif ici est de savoir comment aborder la modélisation des dynamiques spatiales des objets, des acteurs et de leurs interrelations. Car dans le domaine de la gestion des ressources naturelles, et notamment de la gestion de l'eau d'irrigation, la gestion d'une ressource commune pose le problème de l'interaction entre des ensembles d'agents et des ressources dynamiques (BOUSQUET, 2001).

a)Qu'est ce qu'un SMA ?

«Pour modéliser des phénomènes complexes, les **Systèmes Multi Agents** représentent les agents du monde observé et leurs comportements. Élaborer un système multi agents revient à reproduire un monde artificiel ressemblant au monde observé en ce sens qu'il est composé de différents agents, de façon à y mener diverses expériences. Chaque agent est représenté comme une entité informatique dotée d'une autonomie, capable d'agir localement en réponse à des stimulations ou à des communications avec d'autres agents et de se représenter son environnement.» (BOUSQUET & al., 1995).

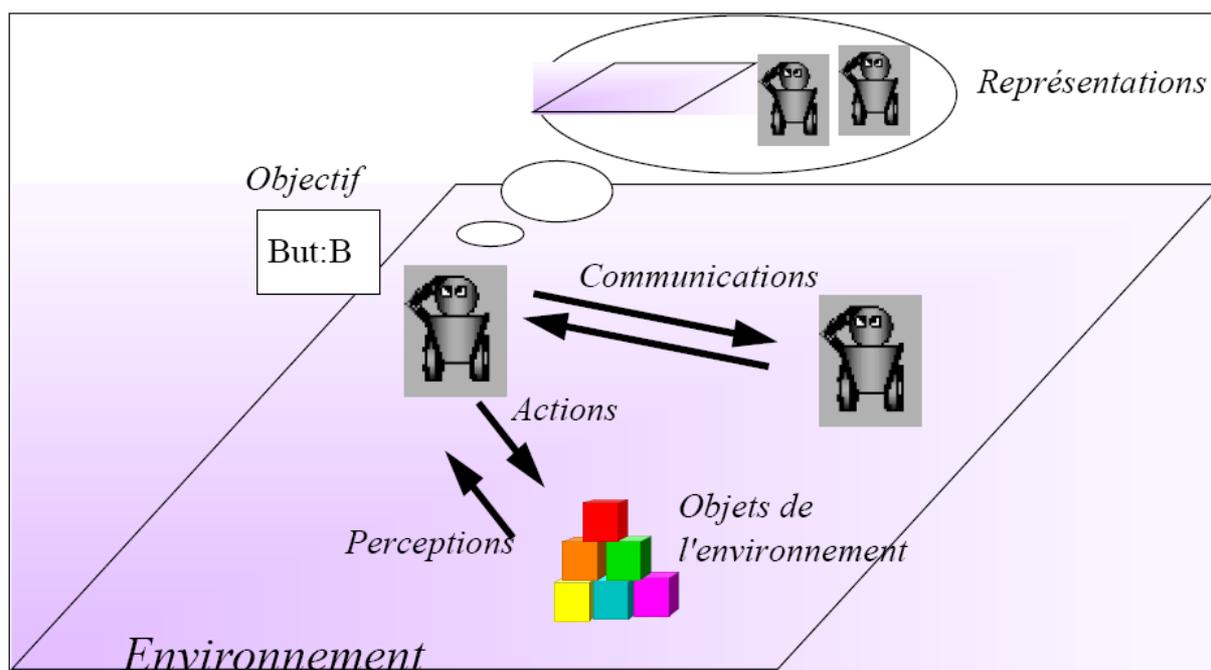


Figure 6 : Représentation imagée d'un système multi-agent (FERBER, 1995)

Les systèmes multi-agents ont vocation d'être des modèles explicatifs basés sur les entités. Ils sont naturellement adaptés à l'étude d'une complexité organisée, c'est à dire à l'étude d'un nombre moyen d'entités hétérogènes produisant des comportements localement structurés tels les sociétés humaines observées à l'échelle méso (familles, entreprises, réseaux sociaux, etc.). On cherche des modèles explicatifs afin de comprendre les mécanismes sous-jacents aux phénomènes globaux observés, y compris les phénomènes d'auto organisation et de reconfiguration dans des systèmes ouverts (BOUSQUET). Pour clarifier ce propos, il faut savoir, comme nous l'avons vu, qu'un modèle est une image simplifiée de la réalité qui nous sert à comprendre le fonctionnement d'un système en fonction d'une question. Tout modèle est constitué d'une part de la description de la structure du système et des objets, et d'autre part de la description des fonctionnements réguliers (ou non) et des dynamiques qui modifient cette structure au cours du temps. Ces descriptions permettent de simuler les évolutions possibles du système que l'on décrit. On distingue les modèles descriptifs et les modèles explicatifs d'une part, et les modèles basés sur des mesures ou sur des entités d'autre part. Les modèles descriptifs ont pour vocation de saisir un invariant observé d'un système, par exemple le déroulement d'un tour d'eau à une date choisie et son mécanisme de répartition des parts aux ayants droits. Les modèles explicatifs ont pour vocation de rendre compte d'un mécanisme ou processus génératif, dont le résultat peut être,

entre autre, une forme de distribution de l'eau, ou une évolution déterminée si tant est que les conditions initiales et les valeurs des paramètres du modèle produisent effectivement un tel invariant. Dans les modèles basés sur les mesures, l'état s'exprime comme un ensemble de variables représentant des grandeurs mesurables du système que l'on modélise (position, nombre d'individus dans une population). Dans les modèles basés sur les entités, l'état s'exprime comme un ensemble structuré, éventuellement variable, d'objets dont non seulement les états mais aussi les relations et le nombre peuvent changer au cours du temps.

Deux types d'approche agents sont possibles (BOUSQUET et GAUTIER, 1999) :

- Une première approche est « centrée acteur ». Les agents y sont définis au niveau des individus, acteurs du changement.
- Une seconde approche est « centrée espace ». Elle consiste à considérer l'espace comme un agent agissant. Les agents représentent ainsi des agrégats spatiaux pour lesquels on définit des mécanismes agrégés de changements. L'avantage de considérer les entités spatiales comme des agents est qu'un lien direct peut être fait avec l'analyse des systèmes géographiques qui considère les structures et dynamiques spatiales. **L'utilisation d'un SIG permet de réaliser des simulations à partir de situations réelles décrites dans les systèmes d'informations géographiques.**

b) Les SMA et notre problématique

Les Systèmes d'Informations Géographiques permettent de saisir, stocker, gérer, visualiser et manipuler des informations sur des objets géoréférencés. Ces fonctionnalités sont très utiles pour saisir et traiter les données collectées sur le terrain. Les SIG offrent de nombreux outils d'analyse spatiale et peuvent de plus en plus intégrer un modèle des objets référencés. Leurs capacités de modélisation sont suffisantes pour modéliser des acteurs simples, réactifs, comme la végétation ou les réservoirs d'eau. Toutefois ils ne permettent que très difficilement d'intégrer des agents cognitifs communicants ayant des comportements complexes (URBANI et DELHOM, 2005) à l'image de celui des agriculteurs irrigants. Or de nombreuses problématiques de gestion de l'eau sont liées à la dynamique sociale du système

Homme / ressource (jeux d'acteurs). S'il on souhaite modéliser les pratiques de gestion de l'eau d'irrigation afin d'une part, de comprendre les pratiques et leurs effets sur le système et d'autre part, d'aider les acteurs à mieux gérer ensemble la ressource, le couplage d'un SMA avec un SIG est particulièrement intéressant. Nous pensons que les problématiques suivantes pourraient être traitées par couplage SIG-SMA et présenter des pistes de réflexion intéressantes.

(1)Le mécanisme des transactions sur les droits d'eau

Depuis quelques années on assiste au développement important de transaction sur les droits d'eau à l'intérieur du périmètre irrigué par la *segua Tamesgleft*. De plus en plus d'agriculteurs vendent du temps d'irrigation sur les eaux de la *segua* à d'autres agriculteurs. Ces transactions ont toujours existées, mais sont aujourd'hui amplifiées par le contexte d'inégalité d'accès à la ressource. Les exploitants qui jouissent du réseau sous pression du secteur N4, revendent leur droit d'eau coutumier aux agriculteurs situés dans la zone traditionnelle non aménagée. Les agriculteurs du N4 font des bénéfices importants. Un mode multi-agent orienté acteur consiste à s'intéresser à la simulation de la gestion dans des réseaux sociaux. Ce système permet de simuler des agents qui s'échangent des messages au sein de réseaux, dits réseaux d'acointances. Il est ainsi possible de simuler des échanges d'informations, des échanges de services, des contrats, des agréments entre les agents. Ainsi il est possible de modéliser les transferts de droits d'eau et de les soumettre à des scénarii. L'intérêt serait de tester l'hypothèse selon laquelle l'évolution des mises en culture est fortement liée à ces réseaux sociaux d'échange de droits.

(2)Les chemins de l'eau dans le réseau

Nous avons constaté qu'au sein d'une unité hydraulique coutumière homogène, tel que par exemple le *douar Barja*, l'agriculteur, pour irriguer son champ, peut mobiliser l'eau par n'importe quelle chemin possible suivant le contexte immédiat. Les canaux ne sont pas propriété exclusive d'une famille ou d'un lignage contrairement à ce que l'on pourrait imaginer. Ce qui serait intéressant à modéliser ce sont les choix qui guident le chemin de l'eau, et les facteurs qui ont une influence sur le trajet de l'eau (L'entente avec un voisin ; la présence d'eau d'une autre source (sous-pression)

dans un canal ; un mauvais écoulement dans un certain canal ; le rapport capacité du canal et débit alloué ; etc.) Quel chemin prendrait l'eau si on change un facteur, si on déséquilibre le système ? Il s'agirait ici de simuler le jeu des acteurs en relation avec la dynamique biophysique du milieu (écoulements superficiels), la distribution de l'eau des canaux vers les parcelles et la gestion individuelle de l'eau au niveau de la parcelle. De plus, il s'agirait de prendre en compte les effets de la gestion collective du périmètre, et notamment celui sur le débit disponible en aval du périmètre.

c) Comment mettre en place un SMA ?

La construction d'un SMA passe par une phase de conceptualisation où les composantes du système sont formalisées par les éléments suivants (Cf. Figure 6):

- Un environnement E, c'est-à-dire un espace disposant généralement d'une métrique (rôle du SIG) ;
- Un ensemble d'objets O ; ces objets sont situés, c'est à dire que, pour tout objet, il est possible à un moment donné, d'associer une position dans E (rôle du SIG) ; ces objets sont passifs, c'est-à-dire qu'ils peuvent être perçus, créés, détruits et modifiés par les agents ;
- Un ensemble A d'agents, qui sont des objets particuliers, lesquels représentent les entités actives du système ;
- Un ensemble de relations R qui unissent des objets et donc des agents entre eux ;
- Un ensemble d'opérations Op permettant aux agents de A de percevoir, produire, consommer, transformer et manipuler des objets de O.

Nous n'avons pas entrepris de mettre en place un tel système pour des raisons de temps et de données. Nous avons pensé que la modélisation multi agent devait avoir une place dans une étude préalable à la mise en place d'un système d'information géographique, mais nous n'avons pas pu développer cet axe dans ce mémoire.

B. Etude des objets à modéliser

Dans les paragraphes suivants nous procéderons à une analyse thématique des objets et acteurs du model.

1. Le système d'acteurs

Trois types d'acteurs interagissent dans notre zone d'étude :

- les agents locaux
- les agents étatiques
- les agents extérieurs

Ces types se retrouvent dans tous les pays du monde (RUF, 2000). Le dernier type n'est pas un type gestionnaire mais influence grandement les dynamiques locales. Les problèmes d'articulation entre ces trois types d'acteurs sont nombreux, et sont l'enjeu du développement pour une meilleure gestion des ressources. Les paragraphes suivants seront consacrés à la présentation des acteurs agissants dans la gestion de l'irrigation de la *séguia Tamesgleft*.

a) Les agents Etatiques

L'Etat agit sous la forme de deux organisations gestionnaires de l'eau. Tout d'abord l'Office Régionale de Mise en Valeur Agricole du Haouz, créé en 1966, a la responsabilité de la mise en œuvre de la politique de développement agricole d'une vaste zone d'action s'étendant sur 663000 ha. L'Office assure la gestion des périmètres irrigués dans le cadre de la réglementation précisée dans le Code des Investissements Agricoles. Il assure aussi l'encadrement des agriculteurs par la mise en place de structures de terrain (subdivision et Centres de Mise en Valeur). Le CMV *Tamesgleft* est ainsi responsable de la zone irriguée par le réseau sous pression et le réseau traditionnel (Cf. Figure 7) sur la *seguia* à l'intérieur de la zone d'action de l'Office. En ce qui concerne la gestion de l'irrigation dans le secteur de *Tamesgleft*, l'ORMVAH intervient par la programmation et le lâcher des eaux à partir du barrage *Lalla Takerkoust*. Un agent de l'Office, garde de vanne, veille à la bonne alimentation des *seguia* au moment des tours d'eau. Les éguadiers sont des agents responsables de la distribution de l'eau dans les sous-secteurs du N4. Des responsables de bloc et des responsables de borne, élus par les AUEA, assure la coordination et le bon fonctionnement de l'irrigation dans leurs unités respectives¹. Les lâchers à partir du barrage réservoir sont réalisés par l'Office National d'Electricité (ONE) car les eaux lâchées sont turbinées pour la production d'électricité.

¹ Pour une meilleure compréhension de la structuration du réseau se référer au paragraphe II.B.2

Ensuite, l'Agence de Bassin Hydraulique du Tensift, surveille la dynamique hydraulique et récolte la redevance sur l'eau. Elle gère également l'implantation des forages. Les usagers de la *seguia Tamesgleft* ne payent pas de redevance pour le moment. L'ABHT intervient pour la fixation des dotations annuelles en eau à réserver aux différents secteurs d'irrigation du N'fis à partir du Barrage *Lalla Takerkoust* (OUZINE, 2006).

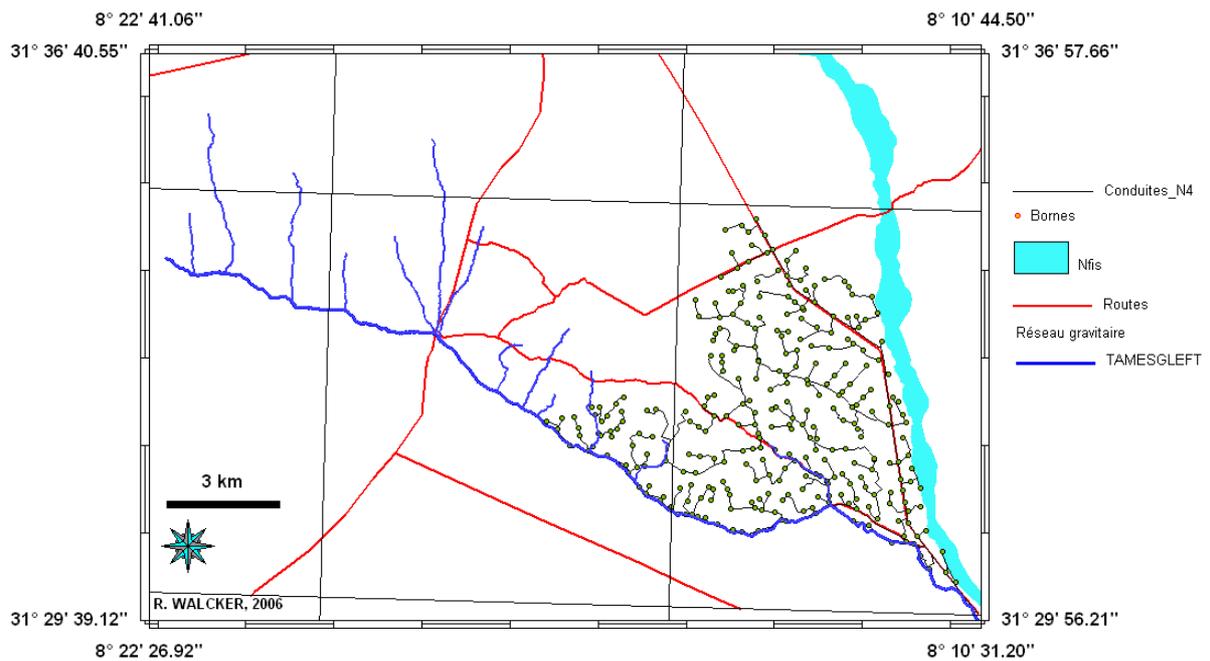


Figure 7 : Le réseau sous pression et le réseau gravitaire de la *seguia Tamesgleft*

b) Les agents exploitants

Une typologie des exploitations a été construite par FINET (2002). Il identifie 4 types d'exploitation selon l'accès à l'eau, le niveau de spécialisation dans les cultures, la taille de l'exploitation, et l'activité de l'exploitant :

- Exploitations à reproduction simple
- Exploitations traditionnelles diversifiées
- Exploitations de maraîchage
- Exploitations capitalistes tournées vers l'exportation

Afin d'affiner notre connaissance des exploitations agricoles présentes dans le périmètre de la *seguia Tamesgleft*, nous devons procéder à l'analyse d'une enquête (à faire) sur un échantillon d'agriculteurs (par exemple exploitants). Grâce à des

analyses statistiques, nous pourrions extraire des catégories d'exploitation. Nous pensons que les attributs de la base « agent exploitant » devraient se fonder plus précisément sur les critères suivants :

- la surface totale de l'exploitation en ha
- les cultures et leur proportion dans la surface totale
- le statut foncier (*Guich, Melk*, terre domaniale, etc.)
- la source et le mode d'irrigation (sous pression, gravitaire, goutte à goutte, forage, etc.)
- les revenus tirés de l'exploitation et de chaque culture
- les investissements par unité de surface (intrants, employés, etc.)
- les activités d'appoint de l'agriculteur (booléen)

Outre l'intérêt que cela constituerait pour l'analyse du système, l'obtention de catégories d'agents présenterait un réel intérêt pour la modélisation. En effet, comme le souligne GRIMM (1999), dans le cadre des modèles individu-centrés non théoriques appliqués à l'écologie, il est préférable de commencer une modélisation sur un état qui correspond au mieux à la réalité. D'après l'auteur, les modèles les plus utiles sont ceux qui se basent sur des faits, des tendances et des organisations réelles, et ce notamment au moment de leur initialisation. L'utilité de ces modèles est vue par rapport à ce qu'ils apportent à la problématique de terrain étudiée et toujours d'après l'auteur, ces modèles permettent, plus que les autres, de faire ressortir de nouvelles perceptions du système, de nouvelles problématiques et sont, d'une certaine manière, plus à même à être validés / testés.

c) Les agents communautaires

Les exploitants "ayants droit" sont organisés au sein d'institutions traditionnelles et d'institutions modernes. Les premières constituent un héritage ancien du mode de gestion de l'irrigation, les secondes ont été constituées récemment par l'Etat marocain désireux de former un cadre pour la mise en place d'une gestion participative de l'irrigation. Les institutions traditionnelles relèvent de ce que l'on nomme *Jmâa*. Dans le domaine de l'irrigation, une *Jmâa* regroupe un ensemble d'élus locaux qui veillent au respect des droits coutumiers d'un groupe, mais aussi à l'entretien des infrastructures hydrauliques (OUZINE, 2006). Les *Jmâa* s'organisent à

plusieurs échelles. Selon OUZINE (2006), on trouve un conseil de *Jmâa* à l'échelle de la *seguia*. Nous avons pu constater qu'il existe une *Jmâa* regroupant des *douar*² d'intérêts sociaux et hydrauliques communs (lignage). En descendant encore l'échelle géographique, nous avons pu constater qu'il existe différentes *Jmâa* au sein d'un *douar*. Ces *Jmâa* représentent des groupes d'usagers avec un héritage commun (lignage). Quatre agents communautaires importants agissent dans la gestion de l'irrigation :

- *le mohassib*
- *l'amazal*
- *le farak*
- *le mojari*

L'*amazal* gère la « répartition verticale » de l'eau dans les *mesref* en prise sur la *seguia*. A l'intérieur du périmètre d'un *guern*, la répartition (horizontale) de l'eau dans l'arborescence est assurée par le *farak*. OUZINE (2006) décrit ces quatre agents : « L'*amazal* est chargé de la répartition de l'eau le long de la *seguia* mère. Il s'agit du personnage clé dans la fonction de distribution de l'eau dans toute la *seguia Tamzgulft*. Il est désigné par le conseil communautaire de la *seguia* comportant les *nouab* de *jmaa* des *douar* faisant partie du secteur irrigué par la *seguia*. [...]. L'*amazal* n'accède à cette fonction qu'une fois l'unanimité des *jmaa* concernées acquise. [...]. Il veille à l'application du tour d'eau entre les divers ayants droit ainsi qu'au bon fonctionnement des ouvrages de répartition. C'est lui qui décide des travaux urgents à entreprendre et au besoin des modifications provisoires dans le tour d'eau dues principalement aux transactions qui peuvent s'opérer. En raison de sa notoriété, il participe également au règlement des litiges entre usagers. Sa responsabilité s'étale de la prise de la *seguia* jusqu'en tête des différents *mesref*. Enfin, Il assure la coordination entre le *mohassib*, les différents *farak* et *Mojari* qui remplissent leurs fonctions sous sa direction. [...]

Les ayants droit de la *seguia Tamzgulft* sont recensés dans un journal (*Jarida* en arabe). Le journal des ayants droit est un document qui consigne tous les droits d'eau, privés ou collectifs (cas des *douar* disposant de droits d'eau collectifs), d'une façon nominative. Ce journal est régulièrement mis à jour pour tenir compte des éventuelles transactions sur les droits d'eau entre les usagers. Le *mohassib*, ou

² Village, hameau

comptable des droits, est chargé par la communauté de la tenue de ce journal. Il détient la version originale de la *Jarida* et il est particulièrement mandaté pour sa mise à jour. Il est désigné par les *jmaa* comme l'amazal parmi les membres de la collectivité qui inspirent un maximum de confiance. [...].

Pour la distribution interne au sein des unités hydrauliques ou *mesref*, des *farak* sont aussi désignés par les *douar* concernés selon le même principe exposé ci-dessus. Le rôle des ces *farak* consiste à répartir l'eau des *mesref* directement entre les ayants droit. [...].

Les *mojari* sont recrutés par les usagers de chaque unité hydraulique ou *mesref* pour assurer le gardiennage, le contrôle et le suivi de l'écoulement de l'eau au niveau de la *seguia* mère et de la partie primaire du *mesref* pendant le temps d'irrigation alloué à l'unité. Ils doivent contrôler le réseau et signaler à l'*amazal* et au *farak* tout incident affectant le débit contrôlé. Au cours de leur parcours du *mesref* ou la *seguia* mère, ils procèdent à de petits curages pour faciliter l'écoulement des eaux ou au colmatage de brèches pour éviter les fuites. Le nombre de *mojari* recruté dépend de l'importance des tronçons de la *seguia* et du *mesref* à contrôler. Ce nombre diminue au fur et à mesure que l'eau passe des unités aval aux unités amont ».

d)Les agents externes

Scientifiques, développeurs internationaux, acteurs à l'échelle de la mondialisation sont considérés comme des agents externes. Ces agents jouent un rôle plus ou moins important difficilement modélisable à notre échelle.

La modélisation du système d'acteurs dans le cadre conceptuel d'une modélisation multi agent devrait tout d'abord décrire les acteurs du système (ensemble A), puis décrire les relations entre ces acteurs (ensemble R), et enfin décrire les opérations (Op) entre A et O (objets du SIG). Les paragraphes précédents ont pu décrire ce système sans vraiment le formaliser. Le travail devrait se poursuivre dans cette perspective.

2.Les structures physiques du réseau

Dans cette partie nous présenterons les infrastructures de mobilisation de l'eau agricole. Nous avons choisit d'assembler notre présentation sur la théorie des graphes

qui pose un cadre conceptuel adéquate à la description et à l'analyse de la géographie des réseaux.

a)La théorie des graphes

La théorie des graphes propose un cadre théorique intéressant pour modéliser les objets spatiaux connectés dans un réseau d'irrigation. Un graphe est en effet une représentation symbolique d'un réseau. Il s'agit d'une abstraction de la réalité de sorte à permettre sa modélisation (RODRIGUE). La théorie des graphes a principalement pour objet les modalités d'encodage des réseaux ainsi que la mesure de leurs propriétés. L'objectif de ce paragraphe vise à définir les éléments de base utiles à l'encodage d'un graphe. On citera rapidement ici, pour plus de clarté, les notions importantes :

- Un graphe G consiste en un ensemble de noeuds v et d'arcs e . Par suite, $G=(v,e)$
- Un sommet v est un point d'extrémité ou un point d'intersection d'un graphe. Il s'agit d'une abstraction d'un lieu tel une ville, une intersection, ou dans notre cas un répartiteur, une vanne, etc.
- Un arc e est un lien entre deux sommets. L'arc (i, j) est caractérisé par un sommet initial i et un sommet terminal j . Un arc est une représentation abstraite d'infrastructures de support des déplacements entre deux noeuds. Enfin, un arc possède une direction souvent symbolisée par une flèche
- Un sous-graphe est un sous-ensemble d'un graphe G où p est le nombre de sous-graphes. A titre d'exemple, $G' = (v',e')$ peut être un sous -graphe distinct de G . Dans le graphe G précédant, $p=1$. Si les arcs $(1,2)$ et $(4,3)$ devaient disparaître, alors p serait égal à $p=2$. A moins de considérer le système de transport mondial comme formant un tout, chaque réseau de transport est, en théorie, un sous-graphe d'un autre.

Un réseau d'irrigation permet la circulation des flux d'eau. La théorie des graphes se doit donc de considérer la possibilité de représenter les mouvements.

- Une arête est un groupe de deux sommets tels que chaque sommet fait partie de l'ensemble des correspondants de l'autre sommet. Une arête incarne toute

possibilité de mouvement entre deux noeuds, nonobstant la direction. Les arêtes permettent par conséquent de savoir si un endroit peut être atteint.

- Un chemin est une séquence d'arcs tous parcourus dans le même sens. Pour qu'un chemin relie deux sommets, un déplacement continu suivant une séquence d'arcs doit être possible. L'établissement de chemins est une étape fondamentale dans la mesure d'accessibilité et de flux de trafic au sein d'un réseau

Il existe un ensemble de propriétés pouvant être utilisées afin de décrire les attributs d'un graphe.

- Un graphe est symétrique lorsque chaque paire de sommets reliés dans un sens l'est aussi dans l'autre. Par convention, une ligne dépourvue de flèche représente un arc sur lequel un mouvement bidirectionnel est possible. Une majorité des systèmes d'irrigation sont asymétriques mais la symétrie est aussi possible lorsque, en gravitaire, le débit permet à l'eau de remonter certaines pentes.
- Un graphe est dit connexe si pour toute paire de sommets distincts il existe une chaîne les reliant. La direction n'a pas d'importance pour qu'un graphe soit connexe. Si $p > 1$ le graphe n'est point connexe parce qu'il possède plus qu'un sous-graphe. Il existe plusieurs degrés de connexité, selon l'aisance de mouvement au sein du graphe.

L'organisation des sommets et des arcs dans un graphe débouche sur une structure à propriétés descriptibles.

- Une racine est un sommet r tel que tout autre sommet du graphe est à l'extrémité d'un chemin issu de r . La direction doit nécessairement être prise en compte. Une racine se veut généralement le point d'origine d'un système de distribution. La racine élémentaire d'un réseau hydrographique est sa source.
- Un arbre est un graphe connexe sans cycle. Un arbre a autant d'arcs que de sommets moins un ($e=v-1$). Si un arc devait être supprimé, il cesserait d'être

connexe. Si un nouvel arc devait relier deux sommets, un cycle serait créé. Une arborescence de racine r et un arbre dans lequel aucun arc ne se termine en r et un arc et un seul se termine en tout sommet différent de r .

- Dans un graphe connexe, un sommet est dit d'articulation si le sous-graphe obtenu en le supprimant n'est pas connexe. Il contient, par voie de conséquence, plus d'un sous-graphe ($p > 1$). Un noeud d'articulation est généralement un répartiteur, un *ougoug*³ sur le *N'fis* ou la *segua*, etc.

b)La géographie des réseaux

(1)Le réseau hydrographique naturel

Le réseau hydrographique naturel remarquable sur notre zone d'étude est celui des oueds descendant les contreforts de la chaîne atlasique et drainant sporadiquement les eaux de crue sur l'ouest de la plaine alluvionnaire du *Haouz* de Marrakech. Il s'agit des oueds :

- *N'fis*
- *Goulmine*
- *Ouirmane*
- *Berretmi*

Ces 4 oueds alimentent la *segua Tamesgleft* lors de leurs épisodes de crue. La question de la représentation de ces objets est importante. Doit-on, à notre échelle, considérer ces objets dans le SIG comme des éléments surfaciques ou linéaires ? Un oued comme le *N'fis* se compose d'un lit majeur large de parfois 500m. Les oueds *Goulmine*, *Ouirmane* ou *Berretmi*, de taille moins importante, seraient mieux représentés sous forme de lignes. Ce problème est celui de la représentation multi-échelle. Le changement d'échelle induit une modification de la géométrie de l'objet, qui passe de polygone pour une petite échelle (1/25000^{ème}), à linéaire pour une grande échelle (1/1000000^{ème}). Certains logiciels comme ArcInfo permettent ce mécanisme.

³ Prise d'eau

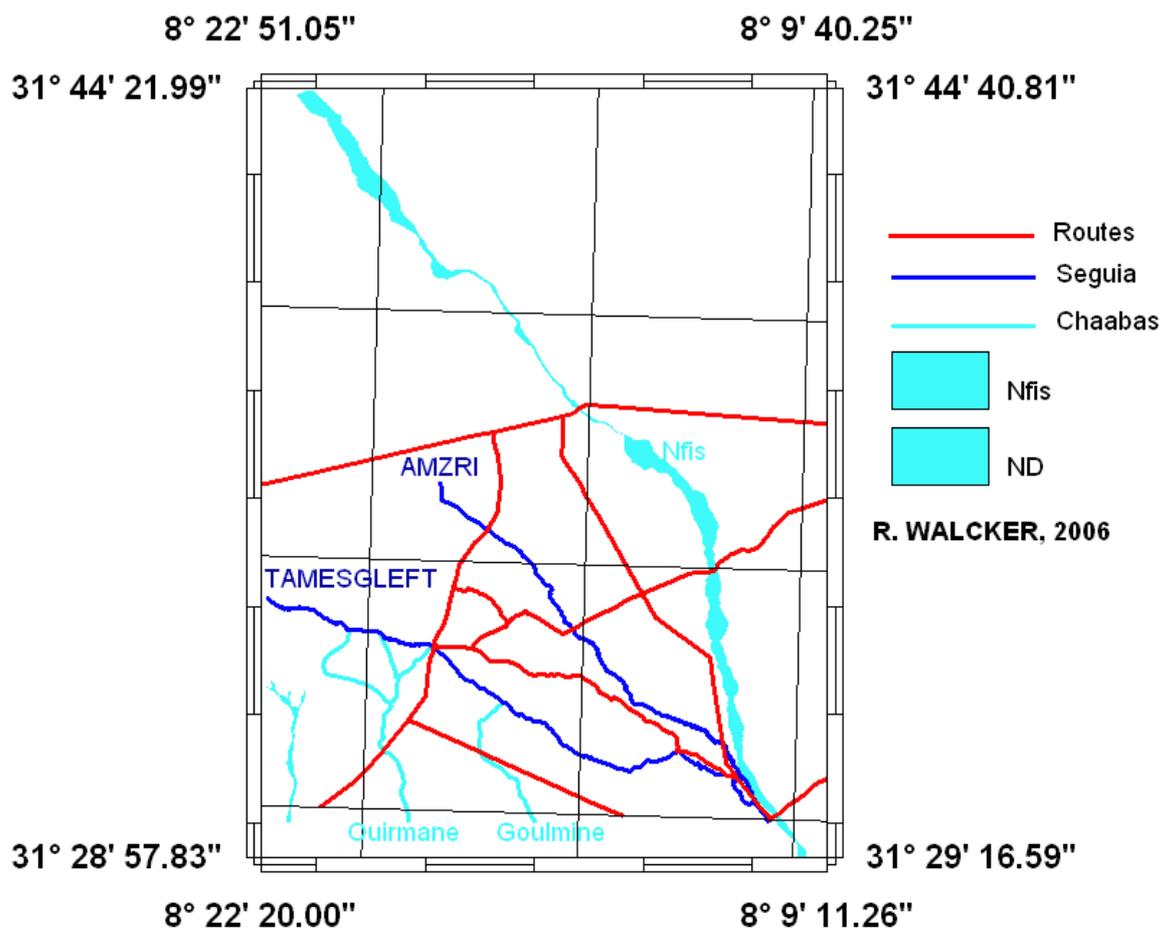


Figure 8 : Le réseau hydrographique (oueds et *châabas*)

(2) Les infrastructures du réseau de la Grande Hydraulique

A la fin des années 1990, 2000 ha à l'amont du secteur alimenté par la *seguia Tamesgleft* ont été équipés d'un réseau de bornes sous-pression directement alimentées par des conduites souterraines provenant du barrage d'accumulation *Lala Takerkourst* et transitant par des ouvrages de régulation. Ce réseau sous pression se compose de conduites (canaux enterrés) constituant les tronçons, ou arcs du réseau. Chacun a un sens d'écoulement. L'eau arrive à des bornes qui constituent les nœuds ou sommets du réseau. Chaque borne alimente une ou plusieurs parcelles en empruntant de petits canaux en terre, correspondant aux *mesref* du réseau ancien. Les bornes sont essentiellement positionnées à proximité d'un canal ancien (Cf. Figure 10), sur une hauteur dominant théoriquement un périmètre de 40 ha en moyenne et en fonction d'un débit de 20L/s. La mise sous pression de l'eau se fait uniquement par différence d'altitude entre les bassins de régulation et les ouvrages de distribution (bornes). Les ingénieurs et techniciens

hydrauliques ont besoin d'autres éléments ponctuels situés sur le réseau de conduites tels que :

- la vanne isolée
- la chambre de vanne
- l'anti-bélier
- la vanne de sectionnement
- le by-pass
- la ventouse
- la vidange

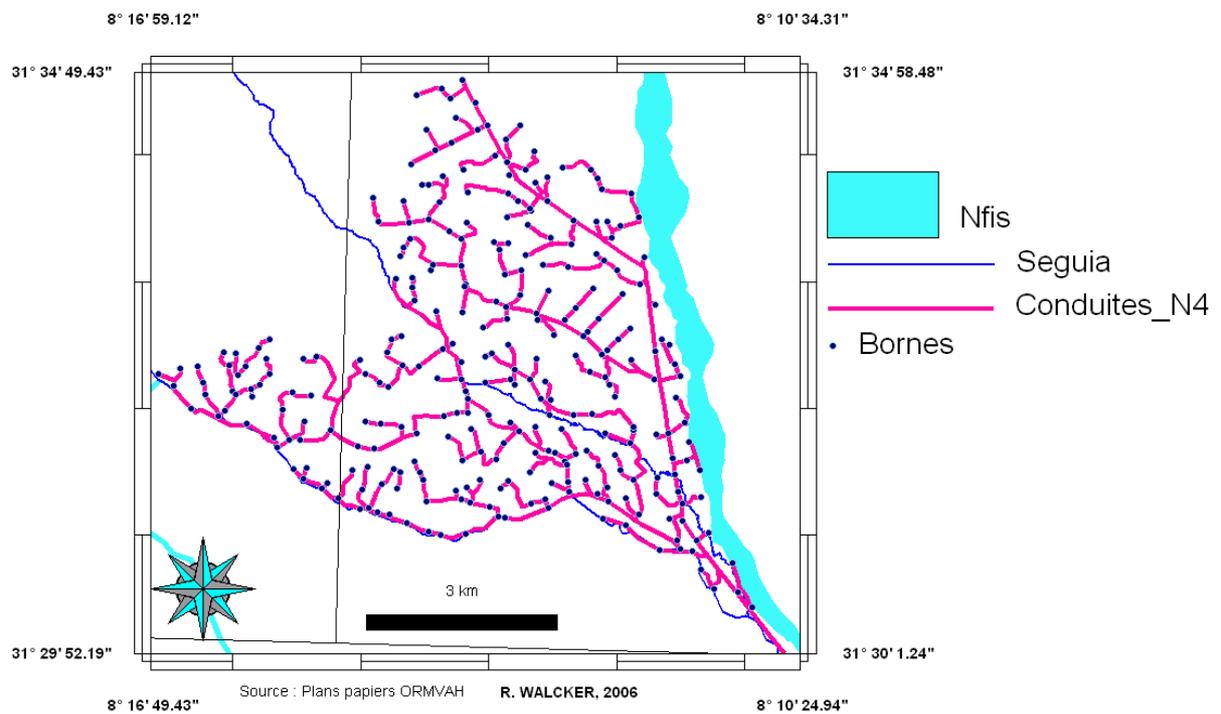


Figure 9 : Le réseau sous pression N4

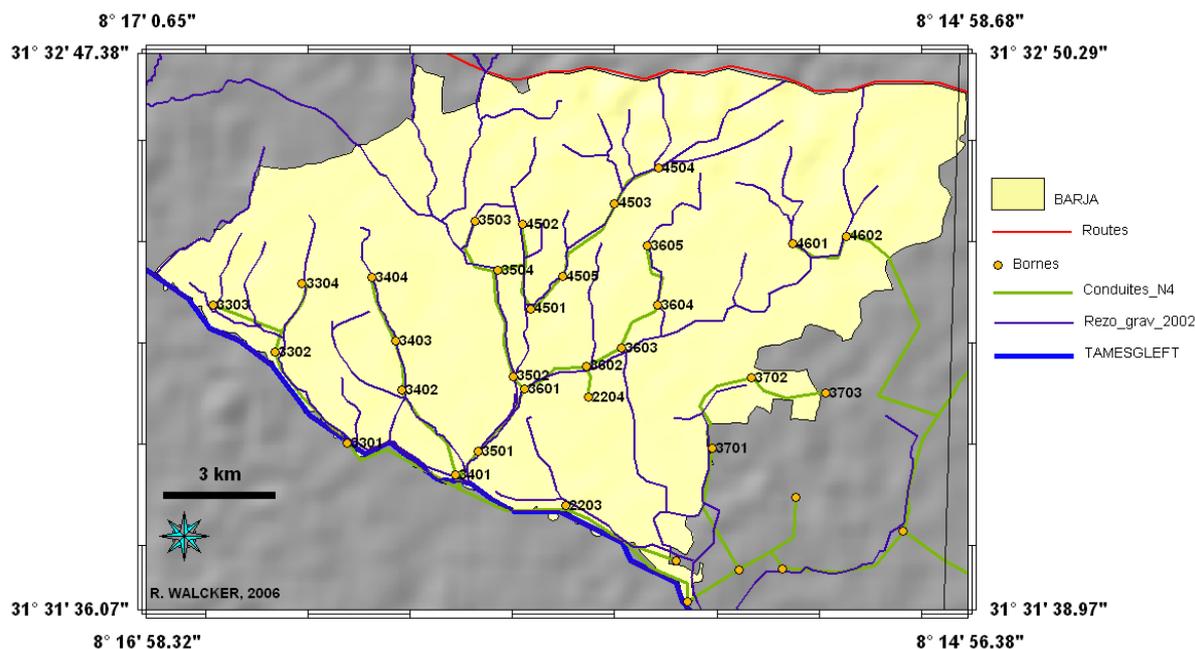


Figure 10 : La superposition du réseau sous pression et du réseau gravitaire sur le secteur N4. L'exemple de l'AUEA Barja.

(3) Les infrastructures du réseau gravitaire de la Petite et Moyenne Hydraulique

L'irrigation par la PMH dans le périmètre de la *segua Tamesgleft* se caractérise par un réseau d'infrastructures gravitaires datant, en majorité, de plusieurs siècles. Notons que la différence faite entre PMH et GH est toute relative aux moyens techniques de l'époque de la construction. Ce réseau de canaux long de plusieurs centaines de kilomètres, sans oublier les galeries de *Khetarras*, furent des ouvrages titanesques. Le réseau « ancien » est structuré hiérarchiquement en une arborescence de canaux en terres qui constituent des tronçons, ou arcs de réseau. Nous sommes dans un réseau d'irrigation gravitaire, ces tronçons ont un sens, correspondant au sens d'écoulement de l'eau, dirigée par la pente et le débit. Notons qu'il est possible, lors d'épisodes de crue, que l'eau emprunte un canal dans le sens inverse de la pente. Celui-ci devient alors une arête du réseau. A chaque embranchement de canaux sont installés des répartiteurs, constituant des nœuds ou sommets sur le réseau. Le répartiteur divise le volume d'eau s'écoulant dans le canal en différentes parts suivant les droits d'eau de chaque ayant droit connecté. La prise d'eau située sur la *segua*, élément ponctuel constituant un nœud, se nomme *ougoug*.

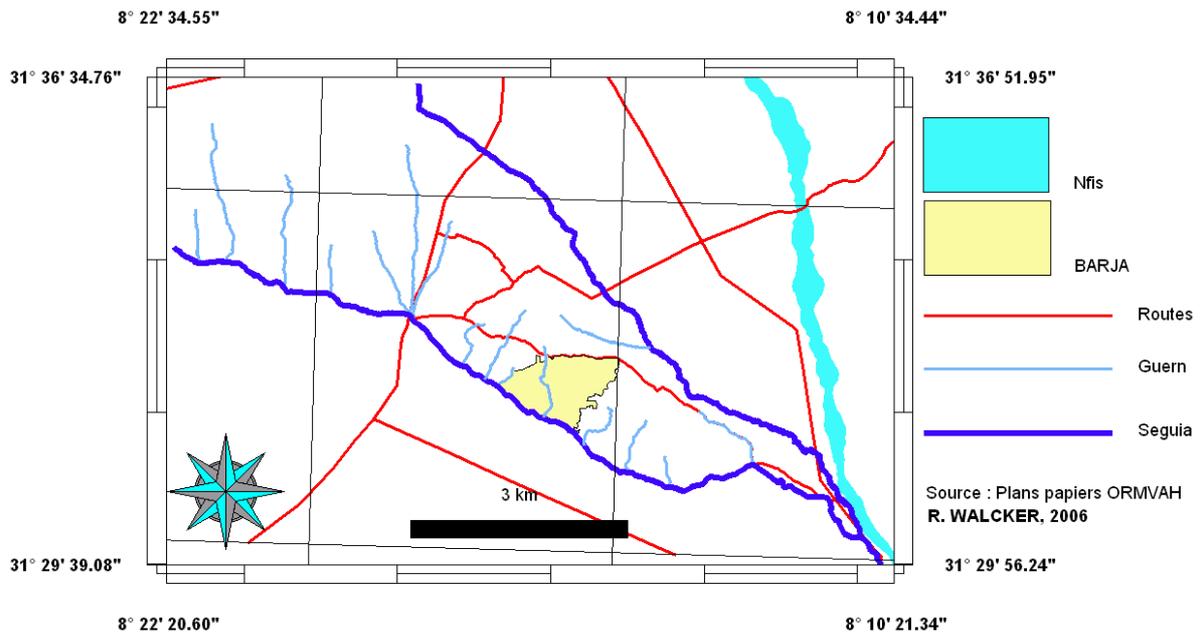


Figure 11 : Le réseau gravitaire

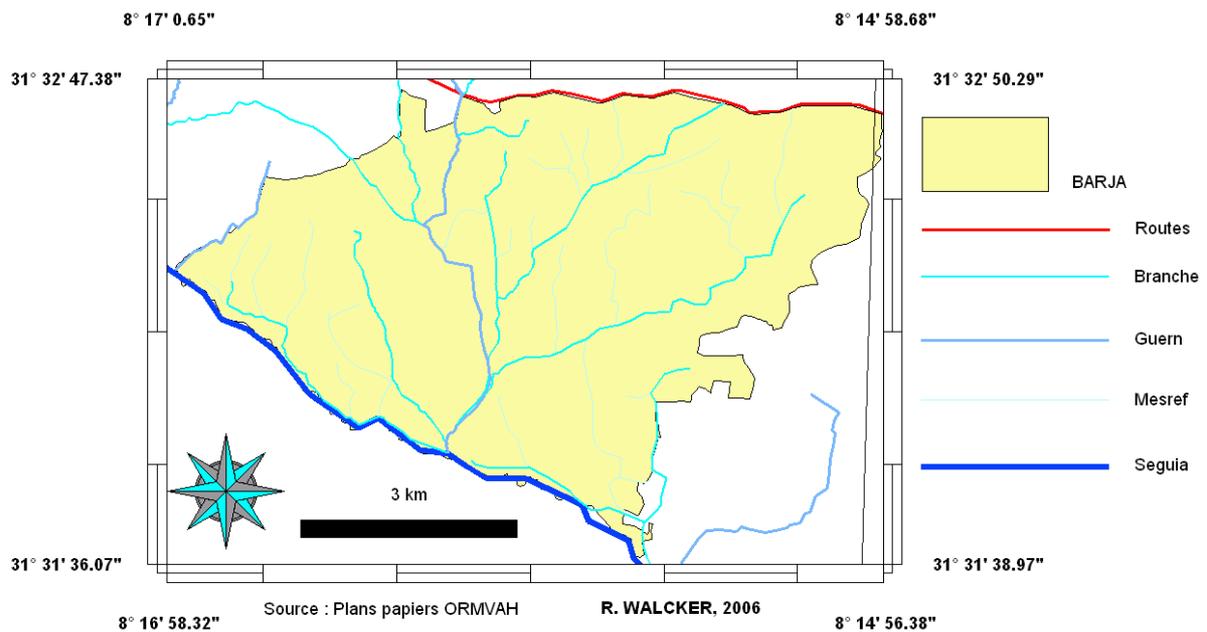


Figure 12 : Le réseau gravitaire plus en détail. Exemple sur l'AUEA Barja.

(4) Les infrastructures de mobilisation des eaux souterraines

Les pompages, en surface, ne constituent pas un réseau. Il s'agit plutôt d'une irrigation très souvent individuelle, localisée dans les parcelles immédiatement accessibles, et dont les infrastructures ne sont pas connexes. Il s'agit plus d'un semi de points indépendants les uns des autres. Cependant, tous les forages de la zone d'étude prélèvent dans une aquifère, et c'est en cela qu'ils sont liés. Devrions-nous considérer la nappe d'eau souterraine comme un nœud du réseau, sur lequel

seraient connectés les forages ? Les pompages sont des éléments essentiels à prendre en compte dans un système qui vise à étudier les dynamiques socio territoriales de l'irrigation. En effet, depuis quelques années on assiste à la multiplication inquiétante de ces ouvrages, due à l'insuffisance de la disponibilité en eau de surface, relativement au développement d'une agriculture maraîchère hautement demandeuse en eau compte tenu des conditions bioclimatiques.

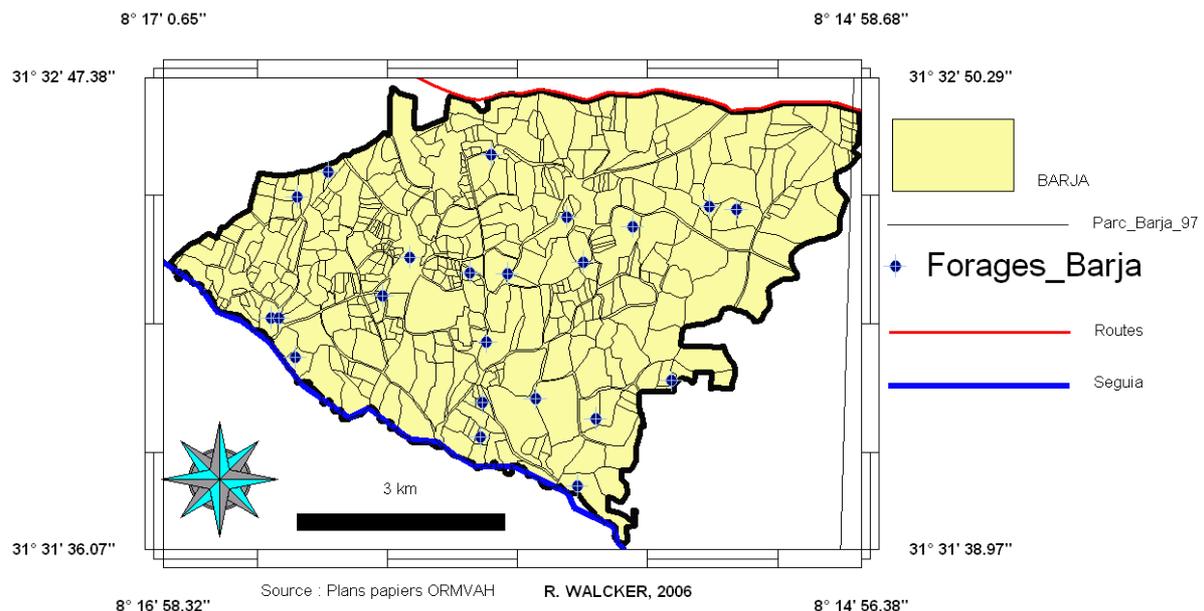


Figure 13 : Les forages sur le périmètre de l'AUEA Barja

c) Les limites du réseau

AUBRIOT (2000), dans sa lecture de la structure physique d'un système d'irrigation népalais, dégage 4 éléments à lire et à interpréter. Elle s'intéresse en premier lieu aux limites géographiques. « S'intéresser aux limites géographiques d'un réseau d'irrigation signifie d'une part déterminer les critères de définition des limites du réseau et d'autre part étudier les limites théoriques (parfois officielles) et les limites effectives du réseau, ainsi que situer la zone irriguée par rapport à celle des réseaux voisins » (AUBRIOT, 2000).

Comment définir les limites d'un réseau d'irrigation d'un point de vue géométrique ? Nous pensons qu'il ne s'agit pas tant de se concentrer sur les infrastructures réseau, mais plus sur les parcelles irriguées. On parle de limite du réseau, mais il s'agit plus des limites de la zone irriguée. En effet, après avoir regrouper l'ensemble des objets « parcelles qui sont irriguées par un même réseau », la polygone extérieur du polygone constitue la limite du réseau, ou dirons nous plutôt, de la zone irriguée.

« Le Haouz de Marrakech est l'un des neuf grands périmètres irrigués du Maroc, caractérisé par une juxtaposition de systèmes d'irrigation anciens et modernes » (OUZINE, 2006). La particularité de notre zone d'étude est en effet cette superposition de réseaux. L'étude des limites géographiques doit donc s'envisager selon trois points :

- la zone irriguée par le réseau gravitaire
- la zone irriguée par le réseau sous pression
- la zone irriguée par le réseau de pompages

La base de ce travail est donc la numérisation des parcelles de la zone, et la caractérisation de leurs modes d'irrigation.

3. Les mailles hydrauliques formées par la distribution de l'eau et des droits

La question que nous nous poserons dans les paragraphes suivants est celle de la modélisation des règles sociales du partage de l'eau. Cette modélisation peut s'envisager de deux façons : soit spatialement, à travers l'étude des unités socio hydrauliques formées ; soit au niveau des acteurs, avec une réflexion sur la modélisation multi agent ayant pour objectif la simulation. Nous resterons ici au niveau de la modélisation spatiale du maillage socio hydraulique. « L'eau est appliquée à des parcelles mais rarement à toutes à la fois simultanément. Elle est donc partagée dans le temps et dans l'espace entre les ayants droit. Des règles définissent l'ordre de distribution et permettent de définir des quartiers d'irrigation » (AUBRIOT, 2000). Ainsi plusieurs types d'eau parcourent les infrastructures de la *segua Tamesgleft* :

- l'eau sous pression
- l'eau de l'oued *N'fis* régularisée dans la *segua*
- l'eau de crue

Pour chaque type d'eau mobilisé, des droits et des règles ont été établies, et permettent, aux différentes échelles, de reconstituer des quartiers hydrauliques. « Un quartier hydraulique est un ensemble de parcelles alimenté par un canal secondaire ou tertiaire. Il correspond à une unité géographique de distribution de l'eau, par

exemple un groupe de parcelles qui disposent du débit durant un temps déterminé ou une fraction du débit de manière permanente [...] Les quartiers hydrauliques correspondent également à des groupes d'usagers qui coopèrent pour se répartir l'eau selon les règles établies. Ils correspondent donc également à des unités sociales de répartition de l'eau. Dans les systèmes d'irrigation historiquement constitués, ces quartiers hydrauliques sont rarement le fruit du hasard. Ils reflètent généralement la structuration de groupes sociaux spécifiques, par exemple des familles d'origines communes, un groupe uni par des relations de voisinage, les membres d'une même communauté, etc. Caractériser ces quartiers implique donc de s'intéresser à différentes caractéristiques, tant techniques que sociales » (APOLLIN & EBERHART, 2000).

(a) Les unités formées par le partage de l'eau régularisée sur l'Oued N'Fis

Nous pouvons identifier plusieurs échelles de partage de l'eau :

- la *seguia* (*Tamesgleft*) est, à l'échelle du *Haouz* de Marrakech, un quartier hydraulique dans la répartition de l'eau de l'Oued *N'fis* ;
- le *guern* est, à l'échelle du périmètre irrigué par la *seguia*, un quartier hydraulique pertinent ;
- à l'intérieur du *guern*, les quartiers hydrauliques pertinents sont :
 - La *Jmâa* du Douar
 - Les lignages

Toutes ces entités spatiales sont des objets surfaciques. Nous pouvons remarquer qu'il existe des marqueurs sociaux pertinents pour identifier ces unités (Cf. Figure 13). Il s'agit des différentes échelles de *Jmâa* et de leurs responsables sur le réseau. Chaque unité a un droit d'eau correspondant à la somme des droits de chaque usager de l'unité (Cf. Figure 14).

Quartier Hydraulique	Responsable réseau	Jmâa
Séguia	Amazal	Conseil de la séguia
Guern	Farak du guern	Jmâa du guern
Lignage	Farak du lignage	Jmâa du lignage

Figure 14 : Marqueurs sociaux des unités spatiales

Sens	Mesref ou branche de la séguia	Droit d'eau en temps d'irrigation
Aval	Mère	
	Lakhchicha	25 H 36
	Mahrouga	14 H 30
	Daoudia	11 H 24
	Merbouha	35 H 21
	Ballouk	33 H 04
	Bied	16 H 50
	Sma	21 H 12
	Chaaba	33 H 38
	Ben yaro	12 H 46
	Darkaoua	6 H 00
	Fartassi	13 H 08
	Litim	12 H 29
	Bahrani Ghaba+Borja	25 H 04
	Hajeb	4 H 55
N'Kikib	14 H 30	
Amont	Oum Lagrinat	7 H 34
	TOTAL	288 H 00

Figure 15 : Répartition des droits d'eau par unité hydraulique (cité dans OUZINE, 2006)

A l'échelle de la *seguia*, la distribution de l'eau est organisée par l'*amazal*, et se fait de l'aval vers l'amont. Il répartie l'eau dans les *guern* suivant les droits d'eau coutumiers (Cf. Figure 14). L'*amazal* doit prendre en compte les ventes et les achats de temps d'irrigation qui lui sont fournis par le *mohassib*. C'est pourquoi aujourd'hui, avec la présence du réseau d'eau sous pression, on peut différencier un droit théorique d'un droit effectif. A certaines saisons, les irrigants n'ont pas besoin d'utiliser leur droit coutumier qu'ils revendent à d'autres. A l'échelle du *gern*, le mécanisme de la distribution est moins bien connu. Le *farak* est l'agent coutumier chargé de distribuer l'eau aux usagers. Dans le cas du *guern Baharani* que nous avons étudié pour la maquette, la distribution se fait tout d'abord par *douar*. En effet, le canal *Baharani* irrigue deux *douar* qui possèdent chacun leur propre *farak*. Ces deux *douar* se sont constitués en deux *jmâa* rivales, puisqu'un conflit foncier les oppose. Ces deux *douar* possèdent chacun leur propre méthode de distribution. Dans le cas du *douar Barja*⁴, la distribution se fait par lignage (Cf. IV.E.5.b). Chaque lignage possède un droit d'eau exprimé en temps d'irrigation. Les usagers d'un même lignage se partagent ce temps.

⁴ Ce douar est constitué de 4 douars ou hameaux : *Chems* ; *Al Harch* ; *Zemrane* ; *Fatouaka*



Figure 16 : Ouverture d'un *ougoug* (prise) sur la *seguia Tamesgleft*. Les membres de la société agricole participent ensemble aux travaux. L'eau va commencer un long chemin au sein des quartiers hydrauliques du *gern* maintenant ouvert. La photographie souligne l'aspect communautaire de la gestion de l'irrigation au sein des terroirs anciens.

(b) Les unités formées par la distribution de l'eau sous pression

Le maillage hydraulique des eaux sous pression se fait à plusieurs échelles :

- le secteur
- le sous secteur
- le bloc
- la borne

L'aménagement d'origine prévoyait 1 borne par bloc hydraulique, soit une borne pour 40 ha dominés. Aujourd'hui pratiquement chaque bloc hydraulique possède de 2 à 4 bornes. Seule 1 borne fonctionne au même moment. Les bornes ont un débit de 20L/s, réparti entre les différents usagers (bornes collectives), et sont représentées par un représentant de borne. Les bornes sont programmées par l'ORMVAH avec une dotation à de 6.800.000 l/ha/an pour tout le N4. Deux fois par mois, selon l'eau disponible dans le barrage, l'agent de l'ORMVAH calcul grâce à un formulaire ACCESS, la dotation en temps d'irrigation pour chaque usager du N4. Le droit d'eau

de l'usager s'exprime en temps d'irrigation, et est donc fonction de la dotation et de la superficie de la parcelle.

Droit de l'usager = (Dotation (m³/ha)*Superficie (ha)/72)*60

Un responsable de borne, élu par l'AUEA concernée, est chargé de procéder à l'ouverture et à la fermeture en temps voulu. Le sous-secteur est un ensemble de blocs contigus sous la responsabilité d'un « équadier » de l'Office.

(c)Les quartiers formés par le partage de l'eau de crue

La structure des quartiers de crue est la même que pour les eaux régularisées du *N'fis* dans la *seguia*. Cependant, la distribution des tours d'eau par *guern* se fait de l'amont vers l'aval, parcelle par parcelle, jusqu'à satiété. Les eaux de crue étant parfois difficilement maîtrisables (parfois entre 2000 et 3000 L/s), exigeant un drainage plus important, les usagers peuvent faire passer l'eau à contre pente entre *guern* directement par des *mesref* contigus. Les quartiers hydrauliques changent de forme lorsque des eaux de crues proviennent des *chabâas Goulmine* et *Ouirmane*. La *seguia* se divise alors en trois zones (RUF et KHARROU) :

- une zone amont alimentée par la crue du *N'fis*
- une zone centrale alimentée par le *chabâa Goulmine*
- une zone avale alimentée par le *châaba Ouirmane*

Nous pourrions rajouter une dernière zone aval alimentée par l'oued *Berretmi*.

4.Le maillage territorial

Le maillage pseudo administratif du territoire se compose de deux catégories : le maillage effectué par l'état et le maillage coutumier. Nous pouvons rajouter la parcelle qui est une maille privée. Le principal maillage territorial étatique sur notre zone est celui composé par la commune rurale et le caïdat. Le maillage territorial coutumier est celui du douar. Le parcellaire est la plus petite maille territoriale. Elle est à l'échelle de l'usager et nous servira de maillage de base pour construire notre SIG. Théoriquement, chaque maille peut se construire à l'aide de l'ensemble des mailles de hiérarchie inférieure. Ces objets sont de type zonal.

5. Le système de production

Analyser une exploitation agricole comme un système, consiste à caractériser les différents éléments constitutifs du système et à mettre en évidence les interrelations entre ces éléments. L'objectif est ainsi d'expliquer le fonctionnement du système de production (APOLLIN, EBERHART, 2000). Il est primordial de s'intéresser aux systèmes de production car les systèmes de production et les règles d'accès et de partage sont étroitement liés. En effet les caractéristiques de l'accès à l'eau (volumes disponibles, fréquences de distribution, degrés de sécurité dans l'accès à l'eau) influencent directement les stratégies de production des agriculteurs. Inversement, les dynamiques d'évolution des systèmes de production (processus d'intensification de la production, apparition de nouvelles cultures plus exigeantes en eau, etc.) influencent les transformations des règles de distribution de l'eau. APOLLIN et EBERHART identifient 4 sous systèmes ainsi que des facteurs déterminants :

- Le sous-système « culture »
- Le sous-système « élevage »
- Le sous-système « transformation de la production »
- Le sous-système « activités non agricoles »

Les facteurs :

- Les moyens de production
- Les logiques agro-techniques
- L'environnement économique
- Les relations sociales de production et d'échanges
- Les conditions du milieu agro-écologique

Nous n'avons évidemment pas d'intérêt à modéliser l'ensemble des éléments du système de production dans le SIG. Du point de vue de l'irrigation, l'éléments principal qu'il serait intéressant de modéliser est le sous système culture et élevage. Les cultures sont liées à un calendrier agricole complexe. Ce calendrier doit par exemple prendre en compte les semis et récoltes tardifs et précoces. Le calendrier agricole est un modèle intéressant d'occupation de l'espace. Il permet de représenter

la dynamique des mises en cultures mais demande des enquêtes approfondies. En nous penchant plus spécifiquement sur le sous système culture, avons pu construire le calendrier agricole suivant :

ID	CULTURE	CLASS	IRRIG_DEBUT	IRRIG_FIN	BESOIN_M3
AB	Abricotier	ARBORICULTURE	JANVIER	SEPTEMBRE	8000
AG	Agrumes	ARBORICULTURE	TOUTE_ANNEE	TOUTE_ANNEE	12000
BDI	Ble dur irrigué	CEREALICULTURE	NOVEMBRE	MARS	4500
BT	Ble tendre	CEREALICULTURE	NOVEMBRE	MARS	4500
CO	Courge	MARAICHAGE	MAI	SEPTEMBRE	10000
FEP	Fève primeur	MARAICHAGE	AOUT	MARS	8000
FES	Fève seche	MARAICHAGE	OCTOBRE	MAI	6000
HV	Haricot vert	MARAICHAGE	FEVRIER	NOVEMBRE	10000
LA	Laitue	MARAICHAGE	TOUTE_ANNEE	TOUTE_ANNEE	12000
		CULTURES			
LU	Luzerne	FOURAGERE	TOUTE_ANNEE	TOUTE_ANNEE	12000
		CULTURES			
MAF	Mais	FOURAGERE	FEVRIER	NOVEMBRE	8000
MAG	Mais grain	CEREALICULTURE	MARS	NOVEMBRE	8000
ME	Melon	MARAICHAGE	DECEMBRE	SEPTEMBRE	8000
OG	Orge grain	CEREALICULTURE	OCTOBRE	MAI	4000
OL	Olivier	ARBORICULTURE	JANVIER	OCTOBRE	6000
		CULTURES			
OR	Orge	FOURAGERE	OCTOBRE	AVRIL	4000
PA	Pastèque	MARAICHAGE	FEVRIER	SEPTEMBRE	8000
PE	Pecher	ARBORICULTURE	FEVRIER	SEPTEMBRE	8000
PO	Pommier	ARBORICULTURE	FEVRIER	SEPTEMBRE	8000
PP	Petit pois	MARAICHAGE	AOUT	MARS	10000
	Pomme de terre				
PT		MARAICHAGE	TOUTE_ANNEE	TOUTE_ANNEE	8000
RO	Rosier	MARAICHAGE	TOUTE_ANNEE	TOUTE_ANNEE	12000
VI	Vigne	ARBORICULTURE	FEVRIER	SEPTEMBRE	5000

6. Le milieu biophysique

La dynamique du milieu biophysique et ses interrelations avec les pratiques d'irrigation sont un point fondamental du modèle. L'angle d'approche est celui de l'interaction entre les usagers et la ressource en eau. Le milieu influence les pratiques locales et ses pratiques modifient en retour le milieu.

a)La géomorphologie

Les formes du relief et la composition des sols sont deux facteurs pertinents à prendre en compte dans l'analyse du système d'irrigation. La pente et son orientation jouent un rôle quasi déterminant dans le fonctionnement de l'irrigation gravitaire. Le sol et ses caractéristiques physico-chimiques interviennent dans les choix de mise en culture et leur stratégie d'irrigation au niveau local. Les formes du relief sont intégrées dans un SIG sous ce que l'on nomme Model Numérique de Terrain (MNT). Les MNT sont généralement issus d'une interpolation spatiale à partir de courbes de niveau digitalisées à partir d'une carte topographique, ou de mesures aériennes à partir de radars. La composition des sols est souvent intégrée à partir de la digitalisation de cartes pédologique. La zone d'étude est une plaine assez plate orientée nord-est sud-ouest. L'emploi de MNT pour effectuer des mesures de pente ou d'orientation risque donc d'être assez délicate. Les cartes pédologiques sont généralement trop imprécises (1/100000ème) pour pouvoir nous apporter une différenciation spatiale pertinente à l'échelle de l'exploitant.

b)Le climat

Le climat est un facteur important intervenant dans les choix d'irrigation. L'agriculteur, raisonnant avec un savoir empirique de son environnement, détermine sa stratégie d'irrigation en fonction de l'impact du climat sur ses cultures. De plus, le climat détermine la quantité d'eau disponible pour l'irrigation. Dans un modèle de la réalité, nous pouvons envisager la place de l'objet/acteur climat de deux manières :

- soit on pense aux SMA qui permettent de prendre en compte la notion de représentation, d'angle de vue sur un objet. Le climat ne détermine pas directement la stratégie d'irrigation mais c'est la représentation que s'en fait l'agriculteur qui importe ;
- soit on appréhende le climat à partir d'un modèle constitué d'un ensemble de points de mesures « objectifs ». Dans un SIG, l'affichage de ses points de mesure se fait par une interpolation⁵ produisant une représentation en mode maillé⁶.

⁵L'interpolation permet, à partir d'une série de points de mesure répartis dans l'espace, d'enquêter sur les points de l'espace non connus en estimant les mesures par rapport aux points connus.

⁶Le mode maillé, appelé aussi raster, est une image composée de pixels.

Dans un modèle « scientifique », la radiation solaire, le vent, les précipitations, les températures, l'humidité de l'air sont les éléments clés qui interviennent dans la mesure de l'évapotranspiration réelle (ETR) et potentielle (ETP). « Les besoins en eau d'une culture correspondent à la somme de l'eau transpirée par les plantes et de l'eau évaporée par le sol. On parle alors d'évapotranspiration. On l'évalue, comme les pluies, en hauteur d'eau par unité de temps (mm par jour, mois, années). Pour évaluer l'évapotranspiration pour des conditions climatiques déterminées, il a été définie une unité de référence : l'évapotranspiration potentielle (ETP). Il s'agit de l'évapotranspiration d'un gazon de graminées de 8 à 15 cm de hauteur, en croissance active, arrosé abondamment et qui couvre totalement le sol. L'ETP, c'est à dire l'évapotranspiration de ce gazon, est différente d'un lieu à l'autre et dépend du climat, principalement de la température, de l'humidité de l'air, de la vitesse du vent et des radiations solaires. Il a été défini différentes méthodes pour calculer l'ETP à partir des données climatiques mesurées en station météorologique. [...]. Pour chaque culture et selon sa phase de développement, ont été mesurés en station des coefficients (K_c) qui établissent la relation entre l'ETP qui dépend du climat et l'ETR, le besoin réel de la culture. Les coefficients K_c sont définis dans la littérature technique pour chaque type de culture. La relation est la suivante :

$$ETR = K_c \times ETP \text{ » (APPOLIN, ERBERHART, 2000).}$$

Cette mesure est donc un point fondamental de l'analyse des besoins en eau d'une culture. Il semble particulièrement intéressant de prendre en compte cette mesure car elle permet de mener des analyses sur le décalage entre les besoins en eau des cultures et leur satisfaction, avec notamment la part de l'irrigation. Ainsi, la formule du bilan hydrique est la suivante :

$$\text{Pluie efficace} + \text{eau d'irrigation} - (ETP \times K_c) = \text{déficit ou excédent.}$$

c)L'hydrologie

Les nappes souterraines sont évidemment à considérer dans le modèle. Leur niveau piézométrique influence directement l'irrigation par prélèvement d'eau souterraine à l'aide de forages et de puits. La modélisation hydrologique doit également prendre en

compte les écoulements superficiels. Un ensemble de points de mesure du débit doivent être pris sur le réseau hydrographique naturel ainsi que dans les canaux, et particulièrement aux nœuds de gestion tels que sur les prises d'eau, les répartiteurs, etc.

C. Du Model Conceptuel de Données vers l'implémentation logicielle

Dans la mesure où l'on ne sait pas encore implémenter un model conceptuel dans une machine, après avoir élaboré le MCD on doit penser à le transformer en un Model Logique de Données qui répond aux règles de gestion du logiciel concerné (en l'occurrence SAVGIS dans notre essai).

1. Le MCD

Si nous considérons le monde réel comme un objet externe, sa modélisation va consister à le traduire en objet interne manipulable et accessible sous une forme numérique. Ainsi le MCD correspond à une décomposition du monde réel en phénomènes simples. Il s'agit d'une structuration particulière des données qui permet de décrire avec précision la complexité d'un phénomène en autant d'informations thématiques et spatiales. Le MCD va permettre de visualiser les liens qui existent entre et à l'intérieur des différents phénomènes étudiés, et dans notre cas, de visualiser les pratiques de gestion de l'eau d'irrigation (ARAB, MINELLI, PIROT, 2005). Un Model Conceptuel de Données est, dans notre cadre conceptuel, un Schéma Conceptuel de Données HBDS qui décrit les classes, attributs et relations afin de structurer et d'organiser les informations de la future base. Pour le SIG, ce modèle conceptuel est associé à un modèle cartographique en 2 parties :

- une partie regroupant les classes sémantiques,
- et une partie regroupant les classes géométriques.

Un MCD Géographique contient nécessairement une partie géométrique figée : une seule classe d'arcs, de zone, etc. De ce fait, tous les SCD correspondants contiendront peu ou prou les mêmes classes géométriques. On peut donc omettre ces classes en indiquant simplement sur chaque classe la nature des objets qu'elle contient : ponctuels, linéaires, surfaciques, mixtes, complexes ou non localisés (PELLE, 2001). Tous les Systèmes d'Information Géographique possèdent un

modèle cartographique (explicite ou non). Afin de ne pas enfermer notre travail dans l'utilisation d'un outil précis, nous modéliserons à partir d'un modèle cartographique général, commun à de nombreux SIG.

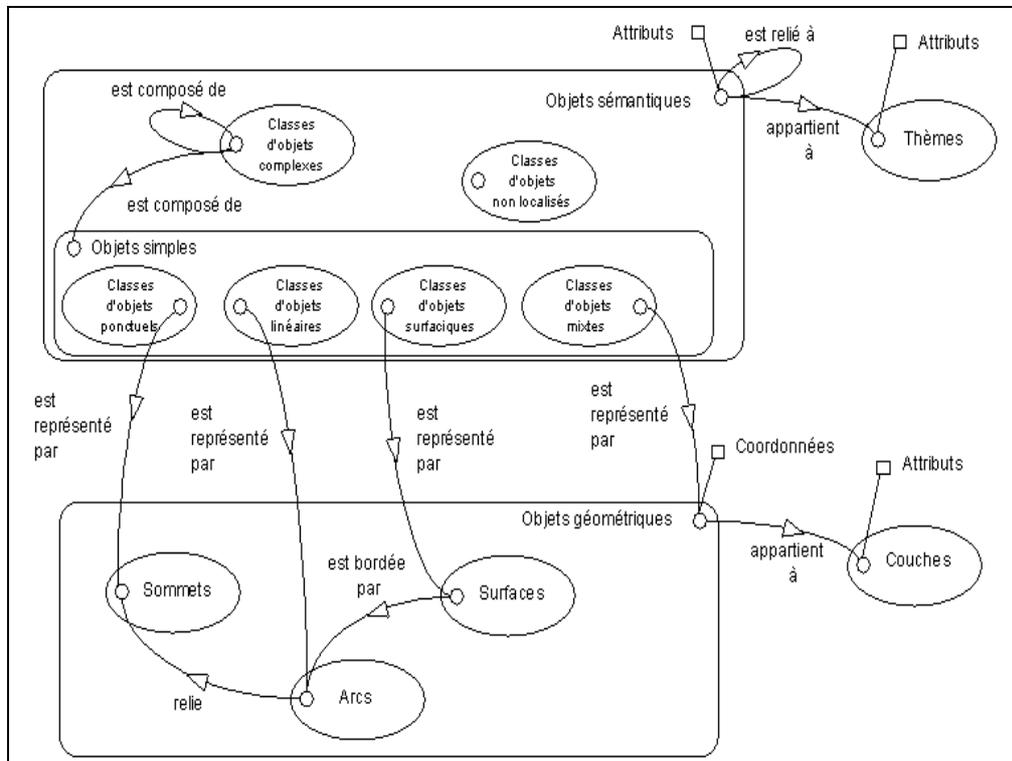


Figure 17 : MCD géographique commun à de nombreux SIG (source: PELLE, 2001)

Dans le cas du progiciel SAVGIS, développé à l'Institut de Recherche pour le Développement par Marc SOURIS, les objets sémantiques peuvent être également représentés par un ou un ensemble d'objets géométriques nommés « mosaïque », étant composé de pixels. Notons également que l'on peut intégrer les classes d'objets non localisés par le type « non localisé ». Les « couches » se nomment relations, et elles sont décrites par des attributs.

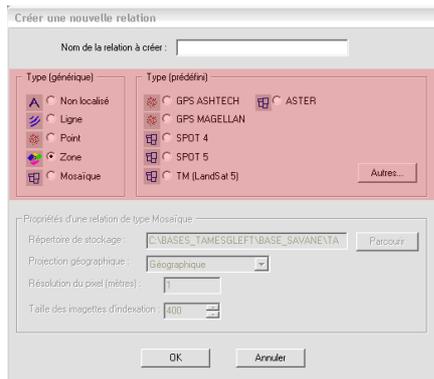


Figure 18 : Les types d'objets géométriques dans SAVGIS



Figure 19 : Les types d'attribut dans SAVANE

Un modèle HBDS qui respecte les règles édictées par un MCD s'appelle un Schéma Conceptuel de Données. La gestion sociale de l'irrigation en général, et arabo-musulmane en particulier, est un domaine très complexe. Nous pensons qu'il est nécessaire de concevoir deux SCD :

- un premier formaté pour la communication, dans lequel les classes et les attributs ne sont pas représentés. Les relations entre hyperclasses et hypergraphes sont simplifiées pour faciliter la lecture du document. On rajoute un élément « thématique » dans la légende ;
- un second plus exhaustif, élaboré pour le technicien, dans lequel le formalisme de la méthode est respecté le plus possible.

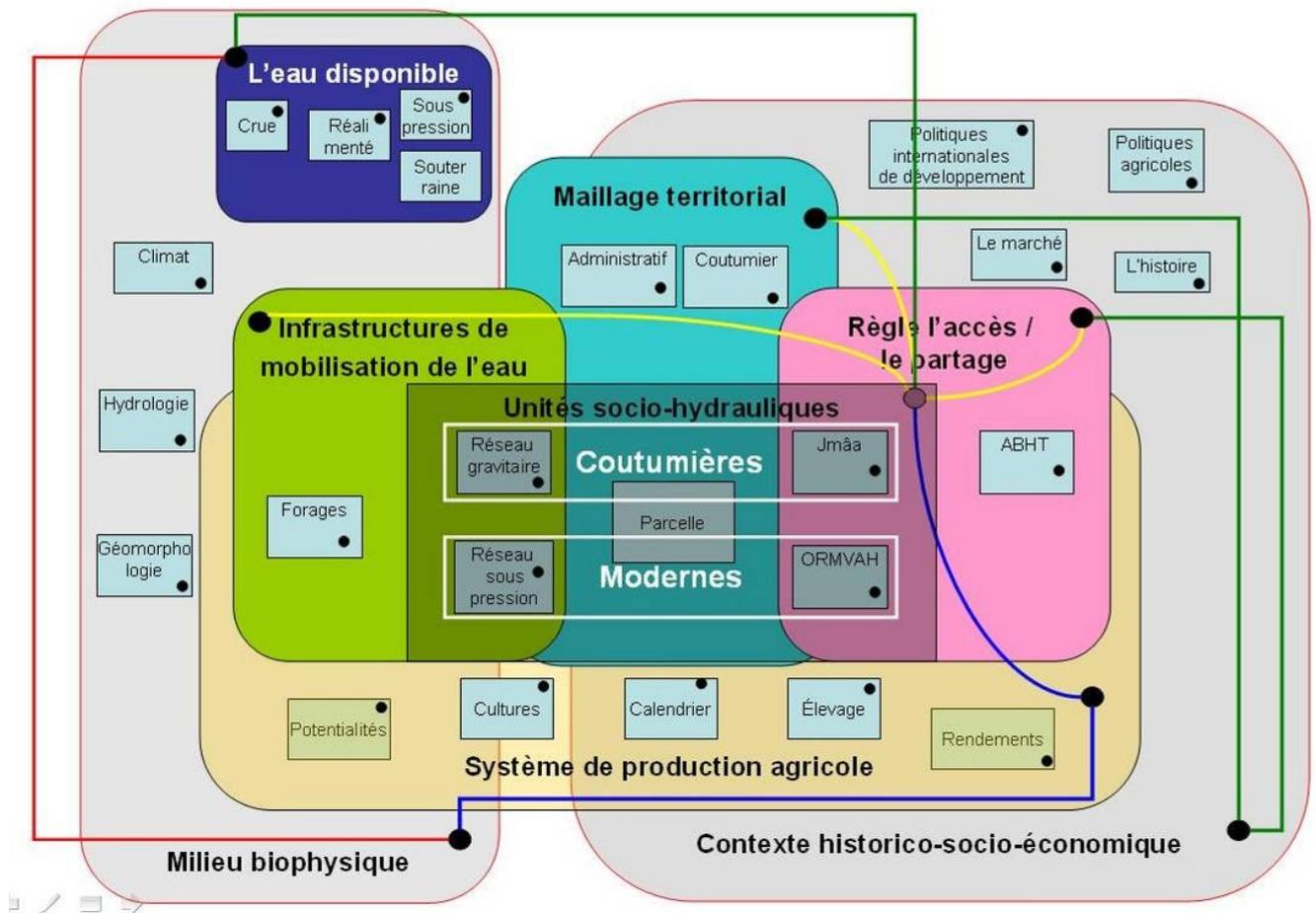


Figure 20 : Le SCD orienté communication

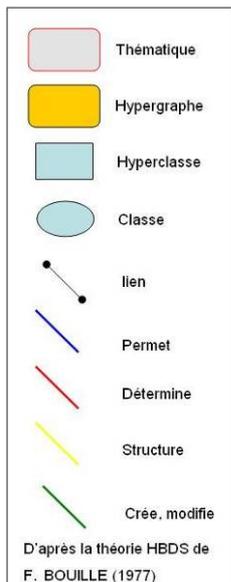


Figure 21 : Légende du SCD HBDS

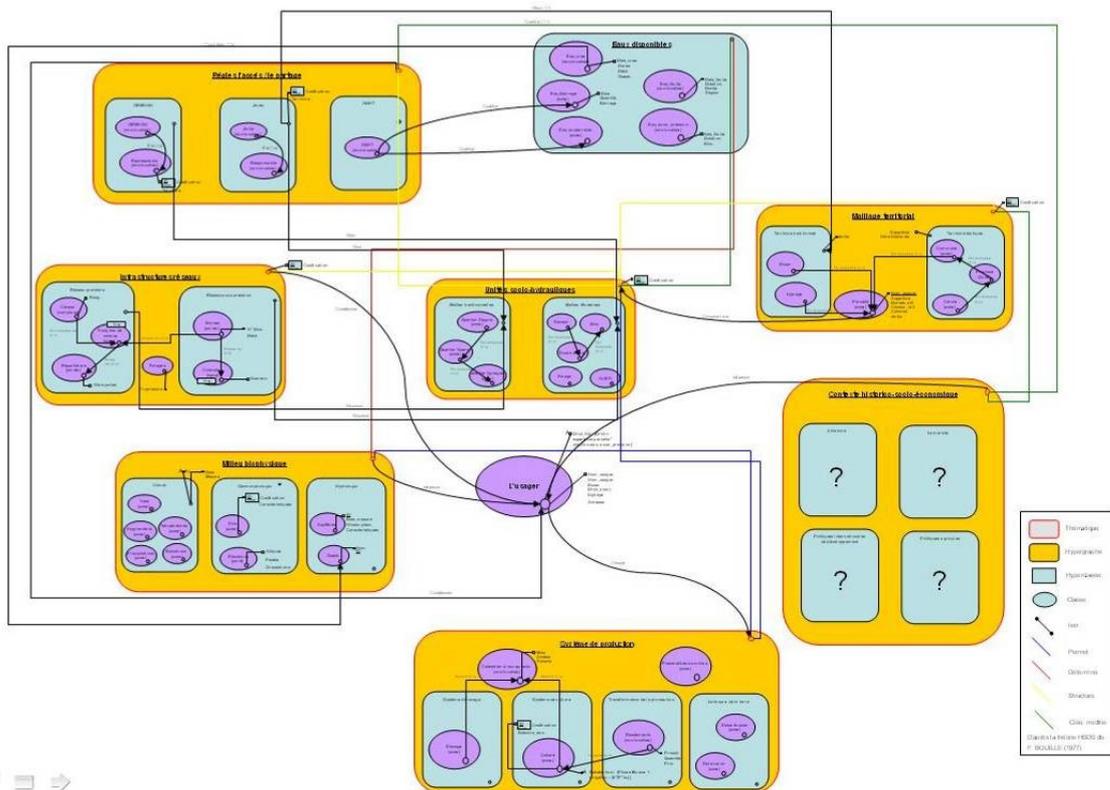


Figure 22 : SCD HBDS plus exhaustif⁷

2.Principes généraux du MLD pour SAVGIS

Alors que le MCD ne prend pas en compte le logiciel utilisé, le Modèle Logique des Données est dépendant du type de base de données utilisé. Ainsi, il s'agit de préciser le type de données utilisées lors des traitements qui seront effectués sous SAVGIS, et de décrire la structure de données utilisée mais sans faire référence à un langage de programmation (Model Physique des Données). Historiquement, se sont succédées plusieurs types d'organisation logique des données :

- Systèmes de Gestion de Fichiers ou SGF qui ne sont pas vraiment des SGBD
- SGBD hiérarchiques organisés selon une arborescence
- SGBD réseau encore appelé CODASYL (du nom de la norme à laquelle ils se réfèrent)
- SGBD relationnels
- SGBDOO (Orientés Objet)

⁷ Le lecteur trouvera en annexe un synoptique des classes du MCD ainsi que la figure 10 au format A0.

SAVGIS fonctionne sous la forme d'un modèle rationnel. Il dispose cependant d'une approche objet par les notions de classe et de méthode sur ces classes. Nous verrons dans l'étape de la construction de la maquette (IV) comment organiser de façon logique ces données afin de les intégrer au mieux dans SAVGIS.

III. Etat des lieux sur les données

Les paragraphes suivants ont été consacrés à un état des lieux sur les données disponibles. Le recueil des données est généralement l'étape suivant la réalisation du MCD. Après avoir reconnu les objets nécessaires dans le MCD, il s'agit de procéder à une enquête approfondie auprès des organismes producteurs de données.

A. Les organismes producteurs de données géographiques

1. L'ORMVAH

Comme nous l'avons vu, l'Office Régionale de Mise en Valeur Agricole du Haouz de Marrakech a été créé en 1966, son siège est à Marrakech. Cet organisme a la responsabilité de la mise en œuvre de la politique de développement agricole d'une vaste zone d'action s'étendant sur 663 000 ha. L'Office assure la gestion des périmètres irrigués dans le cadre de la réglementation précisée dans le Code des Investissements Agricoles. Il assure aussi l'encadrement des agriculteurs par la mise en place de structures de terrain (subdivision et Centres de Mise en Valeur C.M.V.). L'Office possède un stock d'informations géographiques utiles. Les bureaux principalement concernés sont :

- le bureau topographique
- la cellule SIG
- le service de la gestion du réseau

L'ORMVAH a mis en place un SIG comportant des informations de base à l'échelle du Haouz de Marrakech (routes, oueds, villes, réseaux sous pression, etc.).

2. L'ABHT

L'Agence de Bassin Hydraulique du Tensift est un établissement public chargé (OUZINE, 2006) :

- d'élaborer le plan directeur d'aménagement intégré des ressources en eau relevant de leur zone d'action ;
- de veiller à l'application du plan directeur d'aménagement intégré des ressources en eau à l'intérieur de cette zone d'action ;

- de délivrer les autorisations et concessions d'utilisation du domaine public hydraulique prévues dans le plan directeur d'aménagement intégré des ressources en eau ;
- de fournir toute aide financière et toute prestation de service, notamment d'assistance technique, aux personnes publiques ou privées qui en feraient la demande, soit pour prévenir la pollution des ressources en eau, soit en vue d'un aménagement ou d'une utilisation du domaine public hydraulique ;
- de réaliser toutes les mesures piézométriques et de jaugeages ainsi que les études hydrologiques, hydrogéologiques, de planification et de gestion de l'eau tant au plan quantitatif que qualitatif ;
- de réaliser toutes les mesures de qualité et d'appliquer les dispositions de la présente loi et des lois en vigueur relatives à la protection des ressources en eau et à la restauration de leur qualité, en collaboration avec l'autorité gouvernementale chargée de l'environnement ;
- de proposer et d'exécuter les mesures adéquates, d'ordre réglementaire notamment, pour assurer l'approvisionnement en eau en cas de pénurie d'eau ou pour prévenir les risques d'inondation ;
- de gérer et contrôler l'utilisation des ressources en eau mobilisées ;
- de réaliser les infrastructures nécessaires à la prévention et à la lutte contre les inondations ;
- de tenir un registre des droits d'eau reconnus et des concessions et autorisations de prélèvement d'eau accordées.

L'ABHT intervient pour la fixation des dotations annuelles en eau à réserver aux différents secteurs d'irrigation du *N'fis* à partir du Barrage *Lalla Takerkoust*. L'ABHT dispose de conséquentes bases de données reliées dans un SIG à l'échelle du bassin hydraulique.

Voici succinctement les données que l'on peut y trouver :

- Des bases de données hydrauliques :

- ✓ une base de données globale de l'ensemble des bassins hydrauliques du royaume (Badr21)*
- ✓ une base de données DPH (Domaine Public Hydraulique)
- Un SIG sur le bassin hydraulique du Tensift (Base de donnée + SIG) comportant :
 - ✓ La zone d'action de l'Agence du Bassin du Tensift
 - ✓ Le réseau hydrographique
 - ✓ Les stations hydro climatologiques
 - ✓ Les réservoirs aquifères
 - ✓ Le réseau piézométrique
 - ✓ Le réseau de contrôle de la qualité
 - ✓ Les infrastructures hydrauliques (barrages + canal de rocade)
 - ✓ La carte géologique
 - ✓ La carte pédologique
 - ✓ La carte d'occupation des sols
 - ✓ Les périmètres irrigués
 - ✓ Le réseau routier
 - ✓ Les limites administratives (provinces et communes)
 - ✓ Les agglomérations rurales et urbaines
 - ✓ Les cartes topographiques
 - ✓ Le modèle numérique de terrain (80 m X 80 m)
 - ✓ Les images satellites LANDSAT

3.L'IRD CESBIO et le projet SUDMED

SUDMED est un projet de recherche franco-marocain qui est mené par le Centre d'Etudes Spatiales de la BIOSphère en coopération avec plusieurs institutions de la région de Marrakech. Les activités de recherche sur la modélisation de l'irrigation et son suivi par satellite sont incluses dans le projet euro-méditerranéen IRRIMED.

4.Les *jmâa* locales

Les *jmâa* locales détiennent un nombre important d'informations essentielles surtout concernant les droits d'eau coutumiers. Elles surveillent et contrôlent l'irrigation

traditionnelle gravitaire sur leur territoire. Le *mohassib* possède par exemple un cahier qui ressece toute les cessions définitives de droits d'eau. L'accord des *jmâa* lors des enquêtes est une condition essentielle au bon déroulement d'une étude de terrain.

5.Un partenariat dans un projet commun ?

Il nous semble nécessaire, dans la perspective de l'élaboration d'un SIG, couplé ou non à un système multi agent, de créer des conditions de partenariat entre les différents organismes détenteurs de données. Nous pensons qu'il faut renforcer la collaboration entre l'ORMVAH et l'ABHT. Nous pensons qu'il est indispensable de créer une situation de confiance entre les organismes d'Etat (ORMVAH et ABHT) et les institutions locales (*jmâa*). Un projet commun pourrait être un catalyseur pertinent si chacun y trouve son intérêt.

B.Localisation et caractérisation des données utiles

1.Les données du fond géographique

a)Les cartes topographiques

Information recherchée	Donnée brute la contenant	Localisation de la donnée (organisme, url, etc.)	Format de la donnée	Opération de Transformation	Conditions d'acquisition
Routes, toponymie, coordonnées, etc.	Carte topographiques : Mgueliz 1/50000ème / Sidi Zouin 1/50000ème	Bureau topographique ORMVAH	Papier	Numérisation	Partenariat avec le SGRID ORMVAH

b)L'imagerie satellite

Information recherchée	Donnée brute la contenant	Localisation de la donnée (organisme, url, etc.)	Format de la donnée	Opération de Transformation	Condition d'acquisition
Occupation du sol	Scènes SPOT / LANDSAT TM	IRD CESBIO- SUDMED	Numérique (choisir GEOTIFF)	RAS	Charte de bonne utilisation IRD- SUDMED

Voici la liste des scènes satellites disponible à l'IRD CESBIO :

Satellite	Date du cliché			Résolution m/pixel	Couverture
	JJ	MM	AAAA		
LANDSAT TM1	03	11	1992	30	185km
	02	08	1993		
	03	02	2000		
	13	08	2000		
	08	02	2000		
	07	11	2002		
LANDSAT TM3	19	01	1986	30	185km
	28	06	1986		
	25	12	2002		
	26	01	2003		
	11	02	2003		
	27	02	2003		
	15	03	2003		
	31	03	2003		
	10	04	2003		
	02	05	2003		
	18	05	2003		
	03	06	2003		
LANDSAT TM4	06	02	2004	30	185km
	26	04	2004		
SPOT 5	23	07	2002	2,5	de 60 à 120km
SPOT 2	30	08	1992	10 N&B 20 couleur	60km
	09	09	1998		
	12	12	1999		
	28	03	2000		
SPOT 7	26	08	1987	20	
SPOT 8	15	04	2001	20	
SPOT 9	21	11	2000	20	
MSS 1	23	11	1975	80	185km
MSS 3	26	03	1973	80	185km

c) Les images aériennes

Information recherchée	Donnée brute la contenant	Localisation de la donnée (organisme,	Format de la donnée	Opération de Transformation	Conditions d'acquisition
------------------------	---------------------------	---------------------------------------	---------------------	-----------------------------	--------------------------

		url, etc.)			
Localisation des structures du territoire	Photographies aériennes, mission de Mai 1990, au 1/17500ème	Bureau topographique ORMVAH	Papier	Numérisation	Partenariat avec le SGRID ORMVAH

d) Les élévations

Information recherchée	Donnée brute la contenant	Localisation de la donnée (organisme, url, etc.)	Format de la donnée	Opération de Transformation	Conditions d'acquisition
Relief (Altitudes, pentes, orientations, etc.)	Model Numérique de Terrain SRTM (80m/pixel)	NASA http://edc.usgs.gov/products/elevation.html	Numérique (GRID / GEOTIFF)	RAS	Gratuit

2. Les données sur le maillage territorial

a) Les territoires coutumiers

Information recherchée	Donnée brute la contenant	Localisation de la donnée (organisme, url, etc.)	Format de la donnée	Opération de Transformation	Conditions d'acquisition
Finage du douar	Enquêtes auprès des Jmâa	A faire	Numérique (ACCESS, EXCEL)	RAS	Climat de confiance avec les Jmâa

b) Les territoires administratifs

Information recherchée	Donnée brute la contenant	Localisation de la donnée (organisme, url, etc.)	Format de la donnée	Opération de Transformation	Conditions d'acquisition
Limites communales, cercle, province	Couches MapInfo	Cellule de suivi SPP ORMVAH	SIG MapInfo	RAS	Partenariat avec SPP ORMVAH

c)Le parcellaire

Information recherchée		Donnée brute la contenant	Localisation de la donnée (organisme, url, etc.)	Format de la donnée	Opération de Transformation	Conditions d'acquisition
Limites des parcelles avec N°		Plans d'état parcellaire : - zone N4 - zone AUEA Tamesgleft	Bureau topographique SGRID ORMVAH	plusieurs feuilles papier A0	Numérisation / mise à jour	Partenariat avec SGRID ORMVAH
Usagers des parcelles	N4	Base de donnée	Bureau des techniques d'irrigation SGRID ORMVAH	Numérique (ACCESS)	RAS	
	AUEA Tamesgleft	Cahier	Bureau topographique SGRID ORMVAH	papier	saisie	

3.Les données sur les réseaux physiques

a)Le réseau hydrographique naturel

Information recherchée	Donnée brute la contenant	Localisation de la donnée (organisme, url, etc.)	Format de la donnée	Opération de Transformation	Conditions d'acquisition
Tracé& des oueds	Cartes topographiques / Images aériennes	Bureau topographique ORMVAH	Papier	numérisation	Partenariat SGRID ORMVAH
	Scènes SPOT	IRD CESBIO-SUDMED	Numérique	Composition colorée	Charte de bonne utilisation IRD-SUDMED

b)Les infrastructures du réseau gravitaire

Information recherchée	Donnée brute la contenant	Localisation de la donnée (organisme, url, etc.)	Format de la donnée	Opération de Transformation	Conditions d'acquisition
------------------------	---------------------------	--	---------------------	-----------------------------	--------------------------

séguia, mesref	Enquêtes auprès des responsables réseau (Amazel, Farak)	A faire	Numérique (Access, Excel)	RAS	Relations de confiance avec les Jmâa
	Images aériennes / cartes topographiques	Bureau topographique ORMVAH	Papier	Numérisation	Partenariat avec le SGRID ORMVAH
Limites des parcelles avec N°	Plans d'état parcellaire : - zone N4 - zone AUEA Tamesgleft	Bureau topographique SGRID ORMVAH	plusieurs feuilles papier A0	Numérisation / mise à jour	Partenariat avec SGRID ORMVAH
Usagers des parcelles	N4 Base de donnée	Bureau des techniques d'irrigation SGRID ORMVAH	Numérique (ACCESS)	RAS	
	AUEA Tamesgleft Cahier	Bureau topographique SGRID ORMVAH	papier	saisie	

c) Les infrastructures du réseau sous-pression

Information recherchée	Donnée brute la contenant	Localisation de la donnée (organisme, url, etc.)	Format de la donnée	Opération de Transformation	Conditions d'acquisition
Emplacement des bornes, conduites, vannes, etc. du N4	Plan du réseau à l'échelle ⁸	SGRID ORMVAH	Papier	Numérisation / mise à jour	Partenariat avec le SRID ORMVAH

d) Les ouvrages de prélèvement d'eau souterraine

Information recherchée	Donnée brute la contenant	Localisation de la donnée (organisme,	Format de la donnée	Opération de Transformation	Conditions d'acquisition

⁸ Notons qu'il existe des couches MapInfo des infrastructures réseau du N4. Ce travail a été fait par S. VALLEJO (2000). Nous avons choisit de repartir du début car, bien qu'il s'agisse d'un excellent travail de cartographie, ce travail n'a pas pris en compte plusieurs aspects essentiel en SIG (géoréférencement ; topologie).

Les limites du secteur N4 dépassent dans l'oued ou ne longent pas la *seguia Tamesgleft*. Nous avons essayé de déformer les vecteurs pour les ajuster aux photographies aériennes mais les résultats n'ont pas été à la hauteur.

		url, etc.)			
pompages	Fichiers ArcView	Agence de Bassin Hydraulique du Tensift	SIG (.shp)	RAS	Partenariat avec l'ABHT

4. Les données sur limites géographiques des réseaux

a) Les limites des bassins versants

Information recherchée	Donnée brute la contenant	Localisation de la donnée (organisme, url, etc.)	Format de la donnée	Opération de Transformation	Conditions d'acquisition
Limites du bassin versant des oueds Tensift, N'Fis, etc.	?	IRD CESBIO	?	?	Charte de bonne utilisation IRD-SUDMED

b) Les limites des périmètres irrigués au gravitaires

Information recherchée	Donnée brute la contenant	Localisation de la donnée (organisme, url, etc.)	Format de la donnée	Opération de Transformation	Conditions d'acquisition
Limites des périmètres irrigués par les séguia et par chaque mesref	Enquête par parcelle	A faire	Access	RAS	Fin du conflit entre Jmâa et ORMVAH sur le N4
	Plan parcellaire	Bureau topographique ORMVAH	Papier	Numérisation / mise à jour	Partenariat avec le SGRID ORMVAH
	Base de données des usagers N4	Bureau des techniques d'irrigation SGRID ORMVAH	Numérique (ACCESS)	RAS	

c) Les limites des périmètres irrigués sous-pression

Information recherchée	Donnée brute la contenant	Localisation de la donnée (organisme, url, etc.)	Format de la donnée	Opération de Transformation	Conditions d'acquisition
------------------------	---------------------------	--	---------------------	-----------------------------	--------------------------

Limites du N4	Plan parcellaire N4	Bureau topographique ORMVAH	Papier	Numérisation / mise à jour	Partenariat avec le SGRID ORMVAH
	Base de données des usagers N4	Bureau des techniques d'irrigation SGRID ORMVAH	Numérique (ACCESS)	RAS	

5. Les données sur la ressource en eau et ses règles de partage

a) Le partage de l'eau sous-pression

Information recherchée	Donnée brute la contenant	Localisation de la donnée (organisme, url, etc.)	Format de la donnée	Opération de Transformation	Conditions d'acquisition
Distribution de l'eau dans le N4	Base de données de la consommation	Bureau des techniques d'irrigation SGRID ORMVAH	Numérique (ACCESS)	RAS	Partenariat SGRID ORMVAH

b) Le partage de l'eau de séguia régularisée

Information recherchée	Donnée brute la contenant	Localisation de la donnée (organisme, url, etc.)	Format de la donnée	Opération de Transformation	Conditions d'acquisition
Distribution traditionnelle de l'eau	Enquête auprès des responsables du réseau	A faire	Numérique (ACCESS, EXCEL)	RAS	Secteur N4 : résolution du conflit ORMVAH / Jmâa
	Base de données des usagers N4	Bureau des techniques d'irrigation SGRID ORMVAH	Numérique (ACCESS)	RAS	Partenariat SGRID ORMVAH

c) Le partage de l'eau de crue

Information recherchée	Donnée brute la contenant	Localisation de la donnée (organisme,	Format de la donnée	Opération de Transformation	Conditions d'acquisition
------------------------	---------------------------	---------------------------------------	---------------------	-----------------------------	--------------------------

		url, etc.)			
Distribution traditionnelle de l'eau	Enquête auprès des responsables du réseau	A faire	Numérique (ACCESS, EXCEL)	RAS	Secteur N4 : résolution du conflit ORMVAH / Jmâa
	Enquête par parcelle	A faire	Access	RAS	Partenariat SGRID ORMVAH
	Base de données des usagers N4	Bureau des techniques d'irrigation SGRID ORMVAH	Numérique (ACCESS)	RAS	

6. Les données sur les systèmes de production

a) L'exploitation

Information recherchée	Donnée brute la contenant	Localisation de la donnée (organisme, url, etc.)	Format de la donnée	Opération de Transformation	Conditions d'acquisition
Statut foncier	Enquêtes	A faire	Numérique (ACCESS, EXCEL)	RAS	Climat de confiance avec les Jmâa
Surface de l'exploitation	Plans parcellaires N4 et AUEA Tamesgleft	Bureau topographique SGRID ORMVAH	Papier	Numérisation	Partenariat avec le SGRID ORMVAH
	Base de données N4	Bureau des techniques d'irrigation SGRID ORMVAH	Numérique (ACCESS)	RAS	
	Enquêtes	A faire	Numérique (ACCESS, EXCEL)	RAS	Climat de confiance avec les Jmâa

Surface des cultures					
Mode d'irrigation					
Revenus par production	Enquêtes	A faire	Numérique (ACCESS, EXCEL)	RAS	Climat de confiance avec les Jmâa
Investissement par Unité de Surface					
Nombre d'employés					

b) Les cultures

Information recherchée	Donnée brute la contenant	Localisation de la donnée (organisme, url, etc.)	Format de la donnée	Opération de Transformation	Conditions d'acquisition
Les types de culture	Enquête au CMV	A faire	Numérique (ACCESS, EXCEL)	RAS	Partenariat SGRID ORMVAH

c) Le milieu biophysique

Information recherchée	Donnée brute la contenant	Localisation de la donnée (organisme, url, etc.)	Format de la donnée	Opération de Transformation	Conditions d'acquisition
Sols	Fichiers ArcView	ABHT	SIG (.shp)	RAS	Partenariat avec ABTH
Géomorphologie	Model Numérique de Terrain SRTM (80m/pixel)	NASA http://edc.usgs.gov/products/elevation.html	Numérique (GRID / GEOTIFF)	RAS	Gratuit

Le climat	?	Station de Saada ORMVAH	?	?	Partenariat ORMVAH
Le besoin de eau des cultures	? (ETP, ETR)	Station de Saada ORMVAH	?	?	
	Enquête auprès des agriculteurs	A faire	Numérique (ACCESS, EXCEL)	RAS	

C.Des données disponibles insuffisantes : quelle démarche prévoir ?

Dans l'état actuel, les données disponibles ne sont pas suffisantes. Les SIG ont de grandes potentialités d'analyse spatiale à condition qu'ils aient des données à traiter. C'est dans cette perspective que nous avons réfléchi à une démarche future essentielle.

1.La mise au format des données présentes à l'ORMVAH

L'ORMVAH possède des informations de base très importantes qu'il nous semble indispensable de mettre en forme. Ainsi les plans du parcellaire sont à numériser et digitaliser afin de les intégrer dans un système d'information géographique. Les données sont à mettre à jour, notamment celles en rapport avec les héritages et les ventes de parcelle. Les bases de données, comme celle de la facturation du secteur N4, mais aussi les états parcellaire papiers, sont à mettre au format ACCESS et rassembler dans une base commune.

2.Le recueil des données sur le secteur traditionnel

Le manque de données se situe en majeure partie au niveau du secteur traditionnel. Il est nécessaire d'effectuer des enquêtes de recueil de données (voir tableau II.B.1).



Figure 23 : Un *ougoug* dans la région des Aït Bougmez (Atlas)

IV. Construction d'une maquette sous SAVGIS

Vu que nous ne disposons pas encore d'un « observatoire » de la zone d'étude suffisant pour construire un système d'analyse spatiale efficace, la maquette permet de réaliser quelques exemples de traitements sur un terrain miniature. Dans ce rapport nous avons choisi d'exposer de façon très synthétique les traitements réalisés, le lecteur trouvera en annexe le synoptique détaillé des manipulations réalisées.

A. Choix du terrain d'étude

Le choix du terrain a été déterminé par :

- les données que nous avons à notre disposition au commencement de la maquette,
- l'intérêt du terrain choisi en fonction de notre problématique.

Du mois d'avril à mi-juillet, nous n'avions à notre disposition que le plan parcellaire de la zone N4. Le seul scanner A0 que nous avons trouvé pour numériser les feuilles A0 était celui du magasin WREDE situé cours Mohamed V à *Mgueliz* Marrakech. Le scannage, de mauvaise qualité, n'a rendu visible que la zone aval du secteur N4 correspondant plus ou moins à l'Association d'Usagers de l'Eau Agricole *Barja*. Ce n'est qu'aux environs du 15 juillet que nous avons appris l'existence d'un état parcellaire de tout le secteur réaménagé de la *seguia Tamesgleft*. L'AUEA s'est révélée être une zone intéressante par sa situation d'irrigation. En effet nous avons ici une superposition des trois modes d'irrigation (forage, *seguia*, bornes). Nous avons pensé que dans la perspective d'une recherche sur les unités socio hydrauliques pertinentes, ce terrain mettrait à jour un certain nombre de problèmes.

B. Mise en place de l'environnement de travail

1. Choix d'un référentiel géographique

Les références cartographiques utilisées au Maroc se réfèrent à la projection conforme de Lambert. Il s'agit d'une projection conique sécante, répétée sur quatre zones avec lesquelles est subdivisé le pays, vis-à-vis de quatre couples distincts de

parallèles. Notre terrain d'étude se situe sur la zone 1. Ces zones sont caractérisées par les paramètres suivants :

Zone	Ellipsoïde	Méridien central (°)	Latitude référ. (°)	1 ^{er} parallèle standard (°)	2 ^{ème} parallèle standard (°)	Faux Est (m)	Faux Nord (m)
1	Clarke 1880	-5.4	33.3	31.7279	34.8717	500000	300000
2	Clarke 1880	-5.4	29.7	28.1063	31.2933	500000	300000
3	Clarke 1880	-5.4	26.1	24.5075	27.6921	1200000	400000
4	Clarke 1880	-5.4	22.5	20.9076	24.0921	1500000	400000

Figure 24 : Caractéristiques des projections Lambert Maroc (NB : les coordonnées sont en degrés décimaux)

Le Datum utilisé est celui nommé « Merchich ».

Définition de la fenêtre d'étude en coordonnées géographiques

Point bas gauche

Longitude : 8 ° 30 ' 0 " Est Ouest

Latitude : 31 ° 30 ' 0 " Nord Sud

Point haut droit

Longitude : 8 ° 0 ' 0 " Est Ouest

Latitude : 31 ° 48 ' 45 " Nord Sud

OK Annuler

Figure 25 : Le cadre géographique de notre maquette (NB : les coordonnées sont en degrés, minutes, secondes)

2.Choix d'un outil adapté : SAVGIS

SAVGIS est un système d'information géographique développé à l'IRD par Marc SOURIS⁹, pour répondre aux besoins spécifiques des équipes de chercheurs de l'institut (géographes, démographes, sciences de la terre,). Il a été mis au point au sien des équipes qui ont piloté des bases de données importantes à Quito (Équateur), sur l'Etat de Veracruz (Mexique), dans la région de Tijuana - San Diego (frontière Mexique - USA), dans la province de Li Mari (Chili), à Bamako, à Abidjan, à Addis Abeba et sur les camps de réfugiés au Kenya (Afrique), sur le lagon sud-Ouest de Nouvelle-Calédonie. Ce progiciel permet l'échange de fichiers à travers le format interne de ArcWiew (.shp). Il autorise l'échange de fichiers raster notamment à travers le format ASCII. Sur notre terrain d'étude, les principaux producteurs de données SIG sont :

- l'IRD CESBIO-IRRIMED (utilisant ArcWiew)
- l'Agence de Bassin Hydraulique du Tensift (utilisant ArcWiew)
- L'ORMVAH (utilisant MapInfo)

La communication des fichiers est donc possible, également avec l'ORMAVH, car MapInfo possède par défaut un puissant traducteur de format.

a)Architecture de SAVGIS

Cet outil permet d'aborder toutes les étapes d'un projet basé sur les SIG, étapes allant de la constitution d'une base de données jusqu'à l'édition cartographique. Il comporte les quatre modules suivants :

SAVATECA est le module fondamental destiné à l'administrateur de la base de données. Il permet de gérer et d'organiser la base de données (intégration des données d'origines diverses, gestion de l'accès par les utilisateurs). Il :

- Gère la configuration du système global
- Gère l'ensemble de l'organisation de la base
- Permet de créer une base de données

⁹ *Conception et architecture* : Marc Souris ; *Algorithmique et développement* : Marc Souris ; *Programmation* : Marc Souris, Michel Lepage, Françoise Pelletier, Eric Duperier ; *Tests et débogage* : Bernard Lortic, José Tupiza ; *Manuel de référence* : Marc Souris, Elizabeth Habert

- Permet l'intégration des données graphiques et descriptives dans un système géoréférencé

SAVEDIT est le module de digitalisation. Il permet également de convertir l'information géographique des données au format Mygale reconnu par SAVGIS. Ce module :

- Permet la saisie vectorielle sur écran à partir d'un fond scanné et géoréférencé
- Permet la saisie et la modification de la topologie
- Permet la saisie d'un identifiant de zone, de ligne ou de point
- Autorise l'importation de documents provenant d'autres logiciels
- Intègre une fonction de transformation de référentiel géographique

SAVAMER est le module d'intégration d'images (recalage et géoréférencement). Il permet une mise en conformité géographique des images raster et leur intégration dans une relation de type image, en trois étapes :

- géoréférencement
- ré-échantillonnage
- mosaïquage et intégration indexée

SAVANE est le module d'exploitation de la base de données. C'est le principal module du système. De nombreux traitements de données peuvent être effectués facilement, orientés vers l'analyse spatiale :

- sélections, croisements, mises en relation, regroupements
- masques et tampons graphiques
- jointures et agrégations de données géographiques d'origines diverses
- requêtes et calculs sur les attributs, classifications
- calculs (statistiques, métriques, morphologiques)
- interpolations graphiques et modèles numériques
- télédétection géoréférencée et traitement d'images
- cartographie d'édition (représentations graphiques des résultats des requêtes)

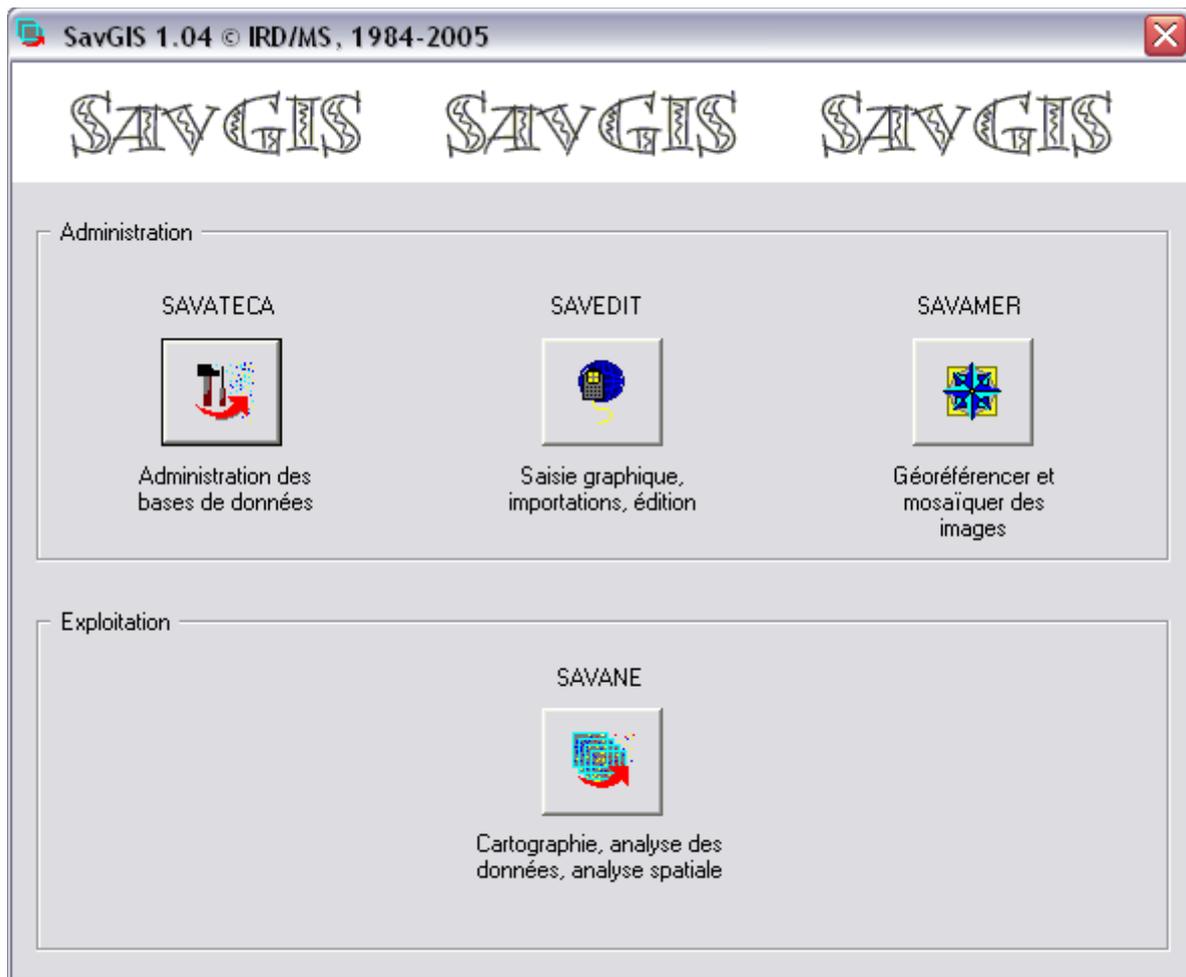


Figure 26 : Le module d'entrée dans SAVGIS

Ce progiciel, initialement destiné à des plateformes SUN, est disponible sous Windows 95, 98, 2000 et NT. Le travail s'effectuera donc sur PC. L'architecture de la base de données est grandement influencée par le logiciel qui l'exploite. Une base de données SAVGIS est constituée de plusieurs dossiers, destinés à recevoir chacun un type d'informations. En voici une présentation des principaux :

- d_babel : destiné à recueillir les fichiers résultant des interpolations.
- d_carte : destiné à stocker les cartes réalisées avec le module SAVANE.
- d_data : destiné à stocker les jeux de données complets.
- d_digit : destiné à stocker les fichiers de positions correspondant aux jeux de données. Ce dossier reçoit également les fichiers de format Mygale, générés lors de l'intégration géographique.
- d_macro : destiné à stocker les fichiers générés lors de la création de macro-commandes.

- d_masque : destiné à stocker les fichiers générés lors de la création de masques avec le module SAVANE.

Les dossiers qui recueillent les données initiales sont d_data et d_digit.

b) Concepts de base

Dans Savane, l'entité de base gérée par le système est l'objet (une parcelle, un tronçon de réseau, une borne, etc.). Il n'y a pas dans SAVGIS de séparation entre la localisation et la description, entre le dessin et l'information : chaque objet est conservé avec tous ses attributs, qu'ils soient graphiques ou descriptifs : c'est le système qui gère l'ensemble. Le système SAVGIS possède son propre système de gestion de base de données, de type relationnel étendu aux données localisées dans l'espace. Chacun de ces objets est décrit par un certain nombre d'attributs (superficie, codification, coordonnées, géométrie, etc.). On regroupe les objets décrits par une même collection d'attributs dans une couche géographique appelée « Relation » (Parcellaire, Bornes, Canaux, etc.). L'ensemble des objets classés en relations constitue ainsi le « schéma » de la base. La structuration des données s'oriente également vers le modèle objet par l'introduction de classes d'objets et de méthodes sur ces classes (SOURIS, HABERT). La localisation d'objets géographiques peut être :

- zonale : l'objet est une zone, c'est-à-dire un domaine de l'espace décrit par une frontière; une collection de zones donne une relation zonale, ou de type zone,
- linéaire : l'objet est une portion de ligne, et la relation correspondante est dite linéaire,
- ponctuelle : la localisation de chaque point est donnée par un point, la relation est dite ponctuelle,
- ou encore sous forme d'image numérique géoréférencée (mosaïque) : les objets sont alors les pixels qui forment l'image.

La localisation peut être donnée sous forme vectorielle (des contours, des arcs) ou sous forme matricielle (des pixels). Ces différents types de localisation correspondent à des types de base pour les objets : zones, lignes, points, pixels. A

chaque type correspondent des méthodes particulières (par exemple, la surface pour les zones, l'interpolation pour les pixels), méthodes accessibles directement dans les menus de SAVANE. De nombreuses méthodes sont communes à tous les types de relations (SOURIS, HABERT). Dans SAVGIS le principe central est de gérer des collections d'objets indépendamment les uns des autres. Leur position dans l'espace étant le seul attribut les mettant en relation dans la base. Comme dans une base de données relationnelle de type ACCESS où les objets sont mis en relation par un attribut commun, SAVGIS emploie la position géographique comme attribut de mise en relation. Ainsi ce progiciel veut permettre une démarche d'analyse spatiale. Des requêtes permettent néanmoins la mise en relation des attributs dans le module d'exploitation. Un autre principe fondamental de SAVGIS c'est la centralisation de la base de donnée. La base est administrée avec des droits d'utilisation, et les utilisateurs, dans leur démarche d'analyse spatiale, ne peuvent pas modifier la base de donnée. Ils créent des états temporaires qu'ils peuvent enregistrer sous forme de cartes.

C. Constitution de la base sous ACCESS et SAVATECA

La maquette répond à un objectif méthodologique, celui de présenter un protocole en exemple de la construction d'une base SIG, à partir des données facilement mobilisables dans le temps imparti au travail. La maquette a aussi pour objectif de présenter les principaux traitements possibles en relation avec la problématique thématique. Nous avons choisit de nous servir d'ACCESS pour saisir, organiser et stocker les données attributaires de base avant de les importer dans SAVGIS à l'aide du module SAVATECA. Les tables d'origine de l'ORMVAH ont été traitées dans ACCESS et ramenées à au cadre géographique de la maquette à partir de requêtes.

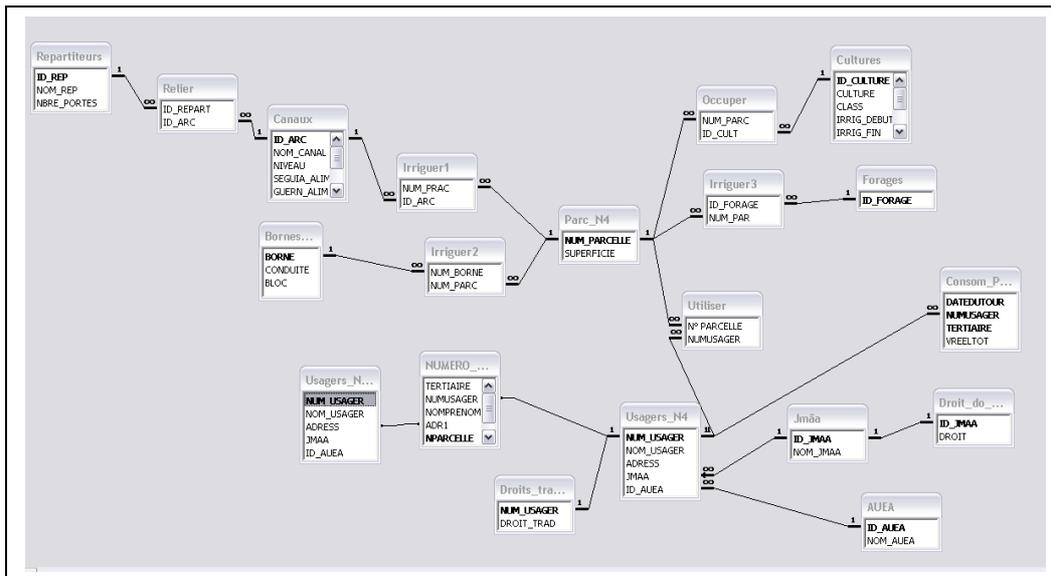


Figure 27 : Modèle physique de données sous ACCESS

Nous avons structuré la base SAVGIS de la maquette en respectant le plus possible l'organisation du MCD conçu au préalable (Cf.I.C.1). L'implémentation d'un MCD dans une base de données se fait en modélisant de nouveau l'information dans un Model Physique de Données (Cf. I.C.2). Nous avons vu que SAVGIS possède son propre moteur gestionnaire de données et fonctionne globalement comme une base de données relationnelle. Une fois les objets intégrés dans le SIG, on exécute des jointures pour mettre en relation les données attributaires. Si l'on veut des relations de plusieurs à plusieurs, on doit créer dans relations indépendantes, comme par exemple :

« Une parcelle peut utiliser de 0 à plusieurs bornes, et une borne peut être utilisées par de 0 (dans le cas où elle ne fonctionne pas) à plusieurs parcelles »

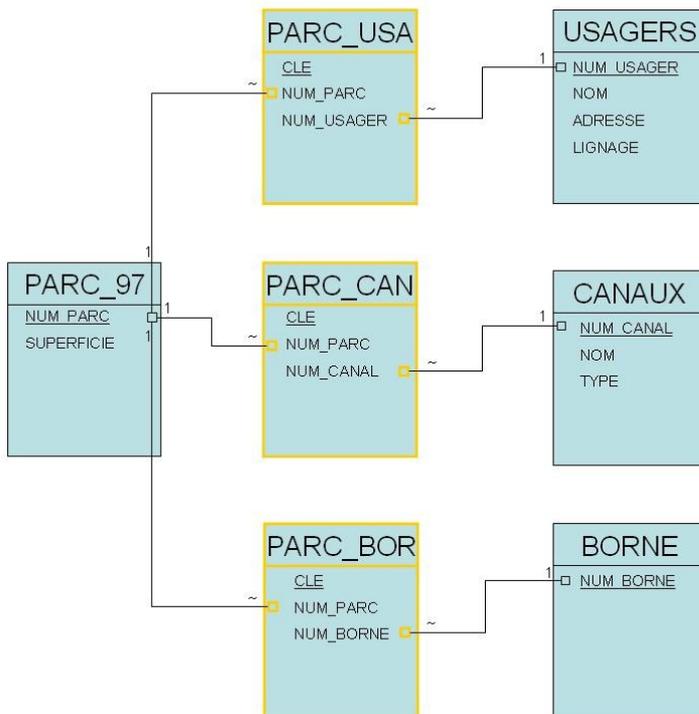


Figure 28 : Exemple de structuration logique des relations de plusieurs à plusieurs dans un modèle relationnel

La table USAGERS est une relation SAVGIS non localisée. L'objet qui lui donne une localisation est la parcelle (PARC_97). Ainsi on peut poser l'hypothèse selon laquelle un regroupement des parcelles d'un même usager est une exploitation agricole. Après la jointure, SAVGIS est donc capable de recréer les exploitations agricoles grâce à la méthode « regroupement thématique ».

En revanche pour les relations de 1 à 1 la jointure se fait directement sur l'attribut commun.

« Un usager peut posséder de 0 à 1 droit d'eau coutumier, et 1 seul droit d'eau coutumier est donnée à 1 usager »

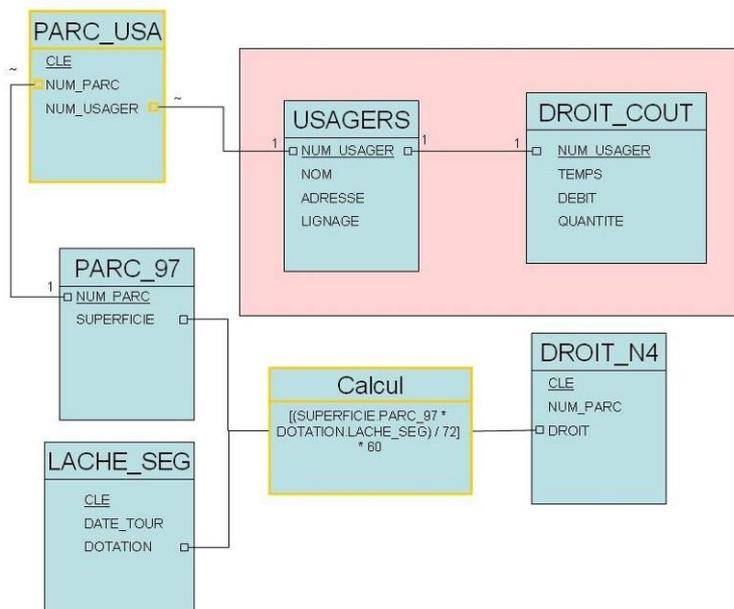


Figure 29 : Exemple de structuration logique des relations de 1 à 1 pour la question des droits d'eau coutumiers

Voici un tableau recensant par type de géométrie les relations et leurs attributs créés dans la maquette.

Relation	Donnée	Type de géométrie	Attributs	Type
SPOT_230702	Image SPOT du 23/07/2002	Mosaïque	XS1	Entier 8 bit
			XS2	
			XS3	
PHOTO_MAI90	Photographies aériennes NB assemblées	Mosaïque	NIV_GRIS	Entier 8 bit
TOPO50	Cartes topographiques assemblées	Mosaïque	NIV_RVB	RGB
MNT	Modèle numérique de terrain 80m	Mosaïque	ALTI	Réel

Figure 30 : Les relations raster de la base

Relation	Donnée	Type de géométrie	Attributs	Type
CANAUX	Réseau d'irrigation gravitaire en 2002	Ligne	CLE_CANAL	Nominal
			NOM	
			TYPE	
CONDUITES	Conduites enterrées du réseau N4	Ligne	NUM_CONDUITE	Nominal
ROUTES	Routes	Ligne	ID_ARC	Nominal

Figure 31 : Relations linéaires de la base

Relation	Donnée	Type de géométrie	Attributs	Type
BORNES	Bornes d'irrigation du réseau N4	Point	NUM_BORNE	Nominal
			DEBIT	Réel
			NUM_BLOC	Nominal
FORAGES	Forages de l'AUEA Barja	Point	CLE	Nominal
			EXPLOITANT	

Figure 32 : Relations ponctuelles de la base

Relation	Donnée	Type de géométrie	Attributs	Type
PARC_97	Parcellaire de l'AUEA en 1997	Zone	NUM_PARC	Nominal
			SUPERFICIE	Réel
			AUEA	Nominal

Figure 33 : Les relation zonales de la base

Relation	Donnée	Type de géométrie	Attributs	Type
USAGERS	Usagers de l'AUEA Barja	Non localisé	NUM_USAGER	Nominal
			NOM_USAGER	Nominal
			ADRESSE	Nominal
			LIGNAGE	Nominal

PARC_USAGER	Jointure relationnelle entre PARC_97 et USAGERS	Non localisé	CLE	Nominal
			NUM_PARC	Nominal
			NUM_USAGER	Nominal
PARC_BORNE	Jointure relationnelle entre PARC_97 et BORNES	Non localisé	CLE	Nominal
			NUM_PARC	Nominal
			NUM_BORNE	Nominal
PARC_CANAL	Jointure relationnelle entre PARC_97 et CANAUX	Non localisé	CLE	Nominal
			NUM_PARC	Nominal
			CLE_CANAL	Nominal
CONSOM_N4	Historique des consommations individuelles sur le N4	Non localisé	CLE	Nominal
			DATE_TOUR	Nominal
			NUM_USAGER	Nominal
			NUM_BORNE	Nominal
			CONSOM_M3	Réel simple

Figure 34 : Relations non localisées de la base

Ces relations sont mises en relation selon un Model Logique de Données (Cf. Figure 35).

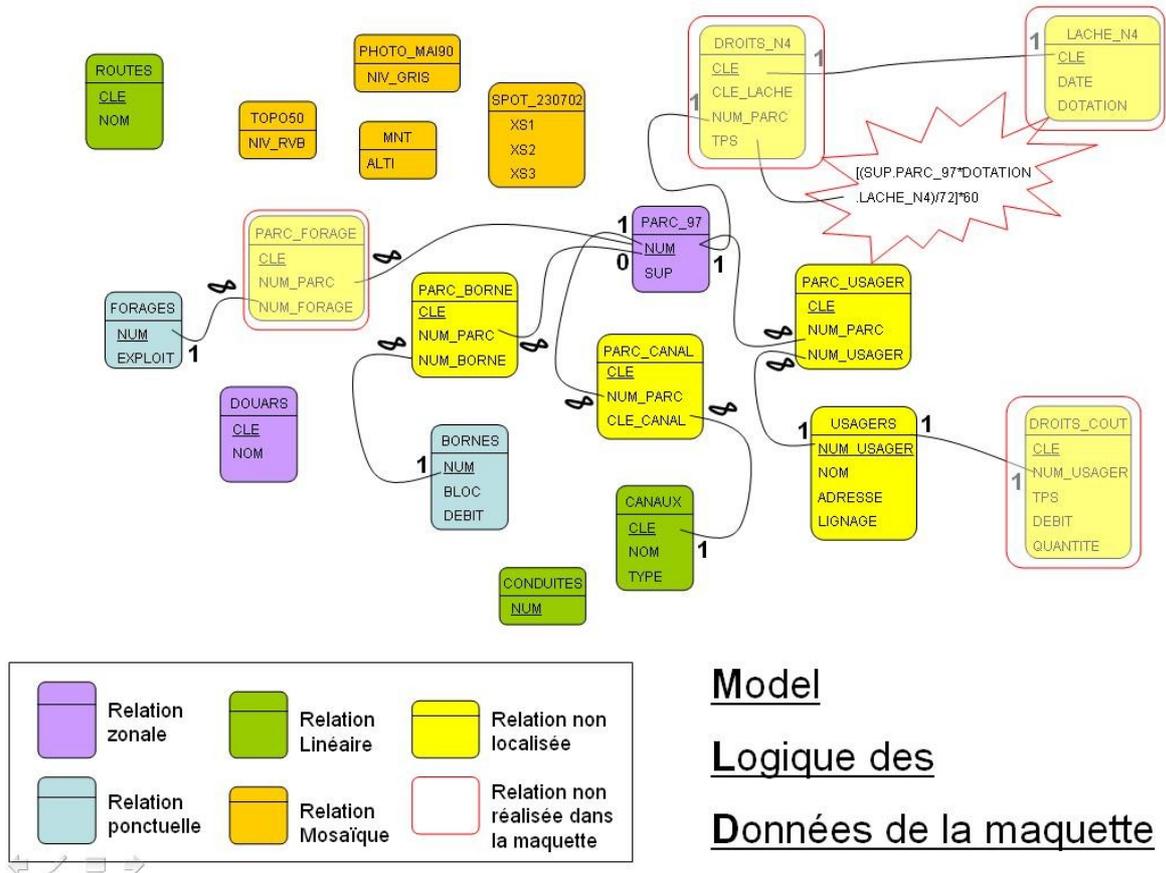


Figure 35 : Le MLD de la maquette SAVGIS

D.Traitement et importation des données

SAVAMER nous a permis d'intégrer, de géoréférencer et de mosaïquer les raster de la base :

- l'image SPOT
- les photographies aériennes
- les cartes topographiques
- le model numérique de terrain SRTM

L'intégration raster dans SAVAMER est possible à partir des formats suivants :

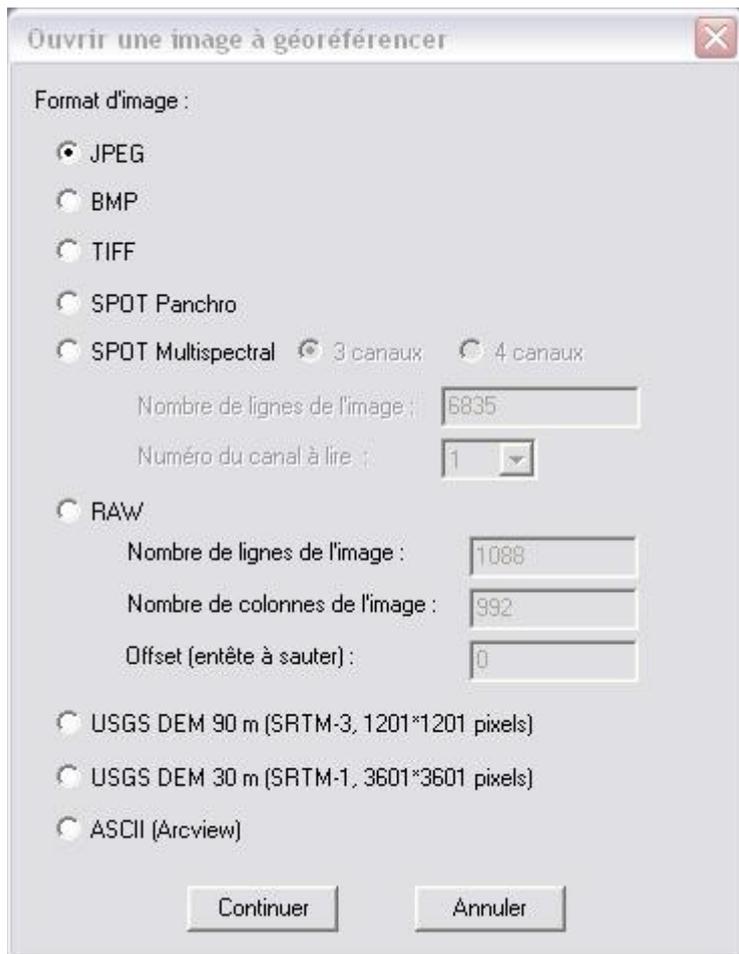


Figure 36 : formats d'intégration dans SAVAMER

Le géoréférencement permet de caler l'image dans un référentiel géographique commun afin que les différentes relations (couches) se superposent. Le mosaïquage des images permet de faire une seule relation d'une série d'images en les « collant » les unes aux autres. Ainsi ont subi un mosaïquage :

- les photographies aériennes
- les cartes topographiques

SAVEDIT a été utilisé pour le travail de digitalisation des :

- canaux
- bornes
- parcelles
- conduites
- routes
- oueds

Se travail se fait à partir d'un document raster préalablement géoréférencé par SAVAMER, tel qu'un plan du réseau pour les bornes et les conduite, ou une image aérienne pour les canaux anciens.

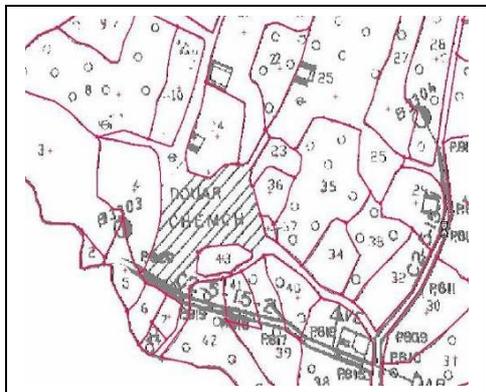


Figure 37 : Exemple de digitalisation des parcelles sur le plan du parcellaire N4 géoréférencé

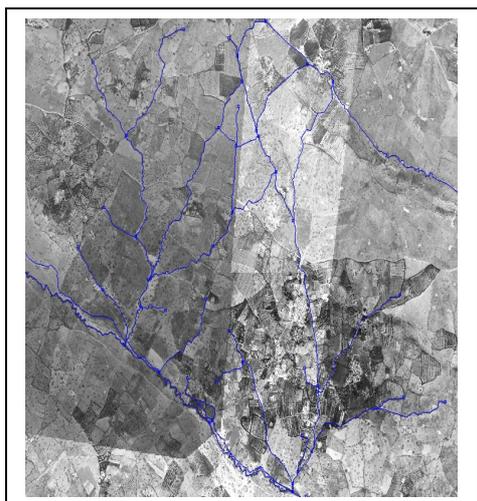


Figure 38 : Exemple de digitalisation des canaux anciens à partir d'une mosaïque d'images aériennes géoréférencées

Les relations non localisées s'intègrent directement dans la base SAVGIS à partir d'un fichier :

- ACCESS
- EXCEL
- DBASE
- ASCII

Voici un modèle général des traitements réalisés :

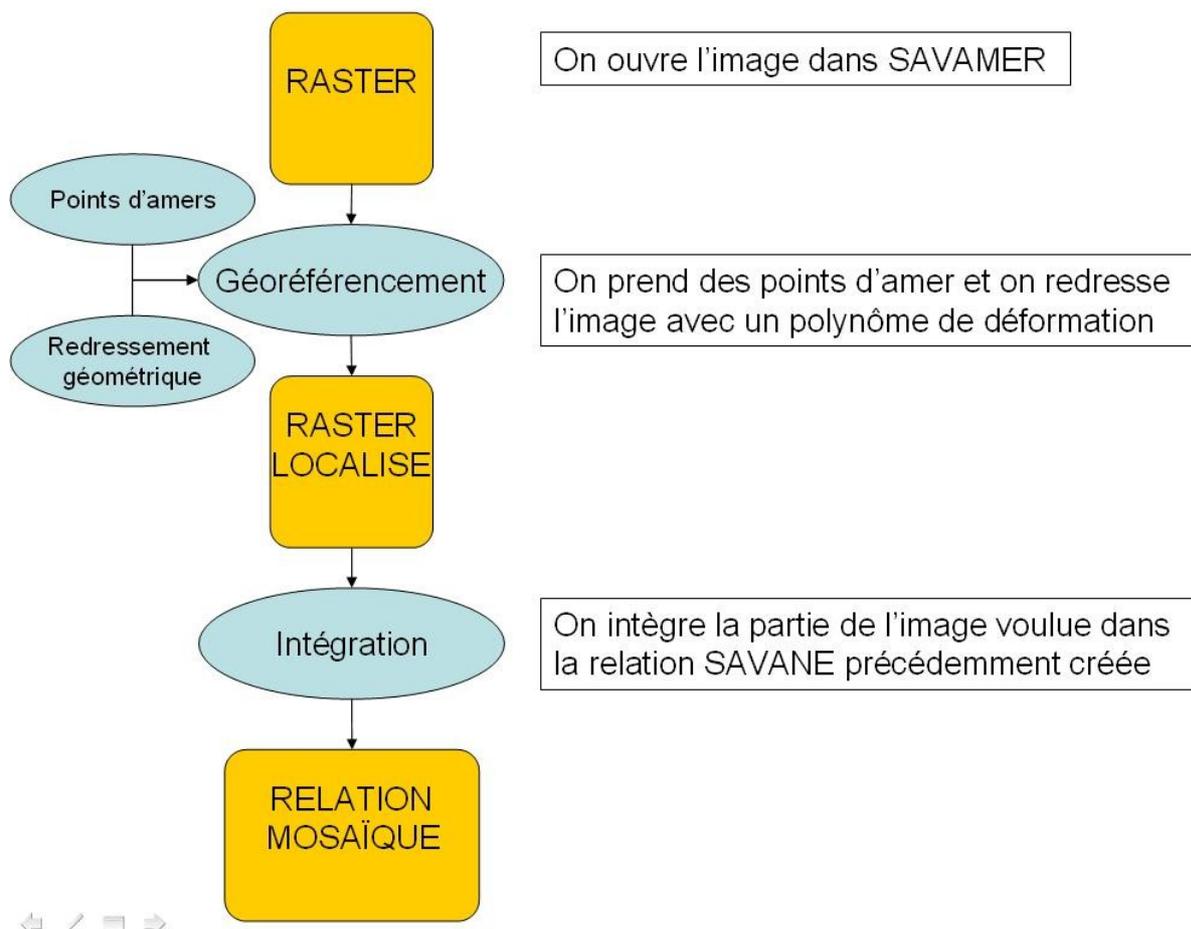


Figure 39 : Model de traitement des rasters avec SAVAMER

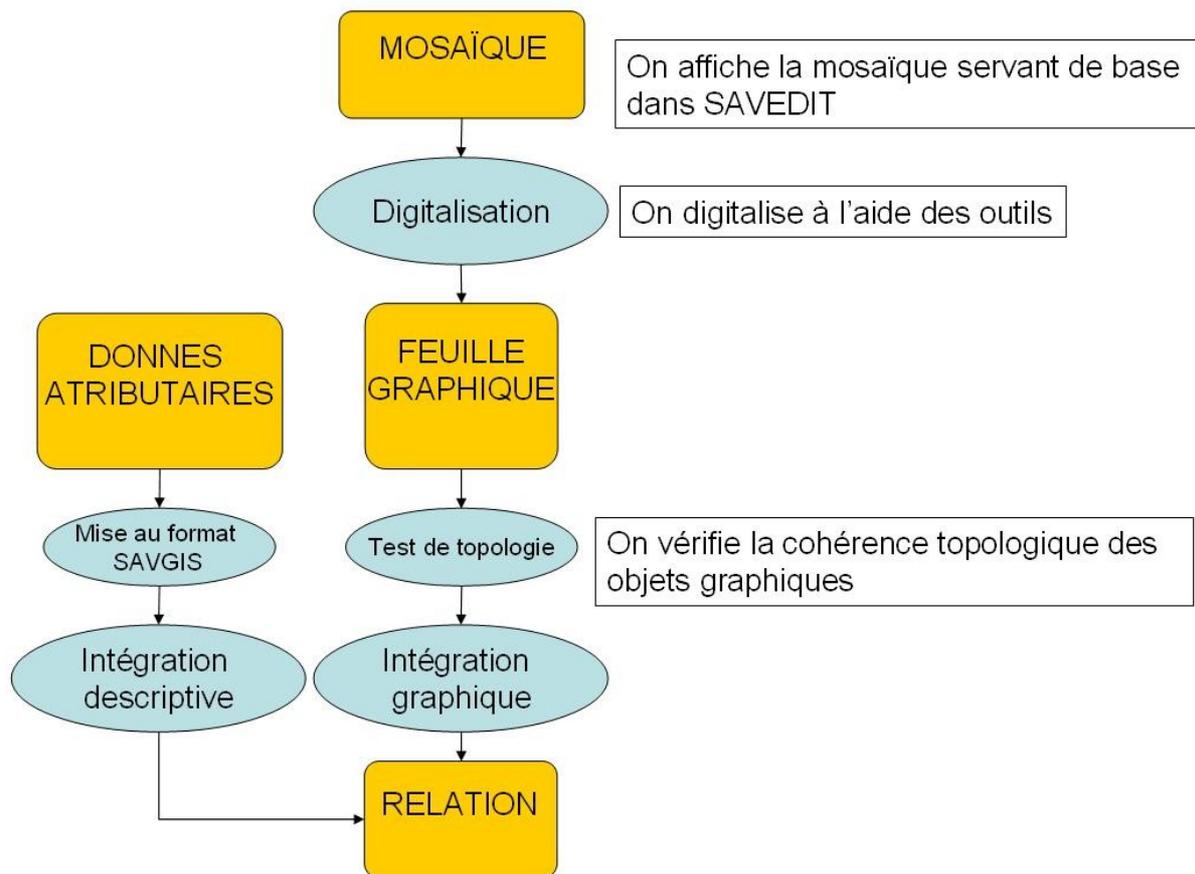


Figure 40 : Model de traitement des vecteurs digitalisés avec SAVEDIT

E.Exploitation des informations sous SAVANE

Une fois la base du système construite, SAVANE est le module de traitement des données qui nous permet de répondre à la problématique en formulant des analyses.

1.Le relief

En irrigation gravitaire, la pente joue généralement un rôle déterminant dans la localisation des infrastructures. Pour visualiser le relief à l'aide du SRTM intégré dans la relation MNT, nous effectuons une interpolation. SAVANE autorise un ensemble de calculs liés à l'étude du relief, dont notamment :

- Pente
- Orientation
- Géomorphologie
- Drainage
- Indice topographique
- Bassin versant

Plusieurs paramètres jouent cependant contre le bon déroulement des calculs. L'amplitude des valeurs est très faible et les résultats visuels sont décevants. En zone plus escarpée, ces calculs devraient donner des résultats plus encourageants.

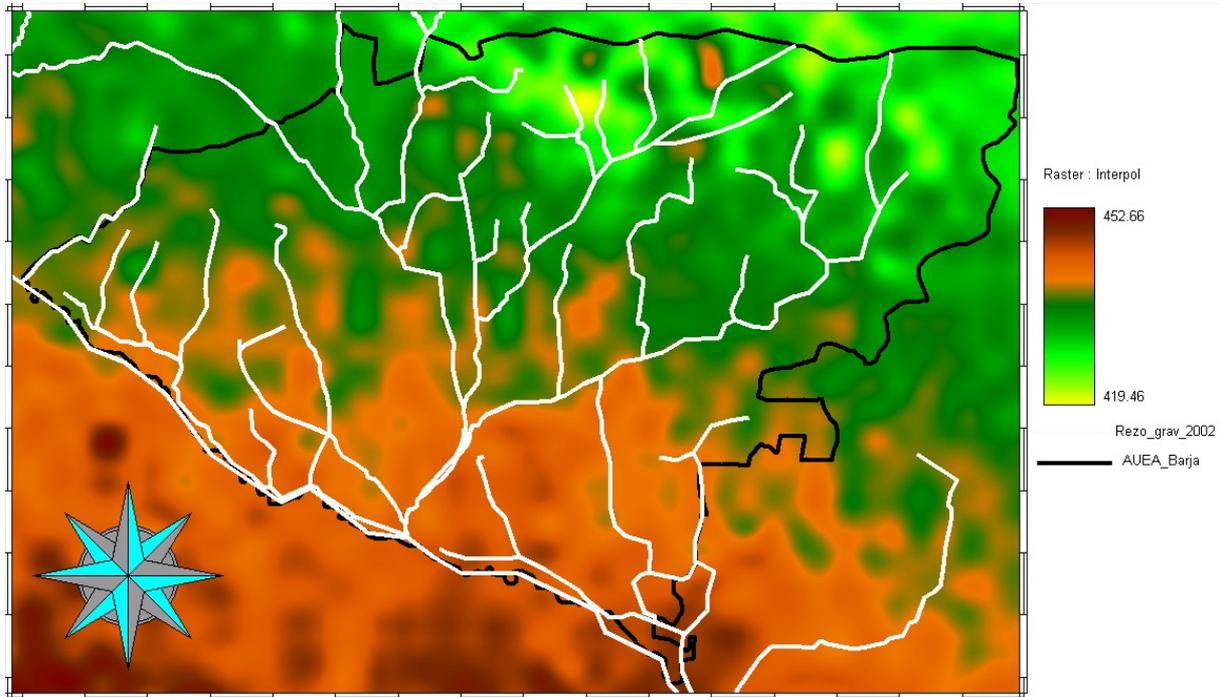


Figure 41 : Le MNT interpolé

La figure 41 nous informe sur l'allure générale du relief qui s'élève de 419m à 452m et dont la pente s'oriente globalement du nord vers le sud.

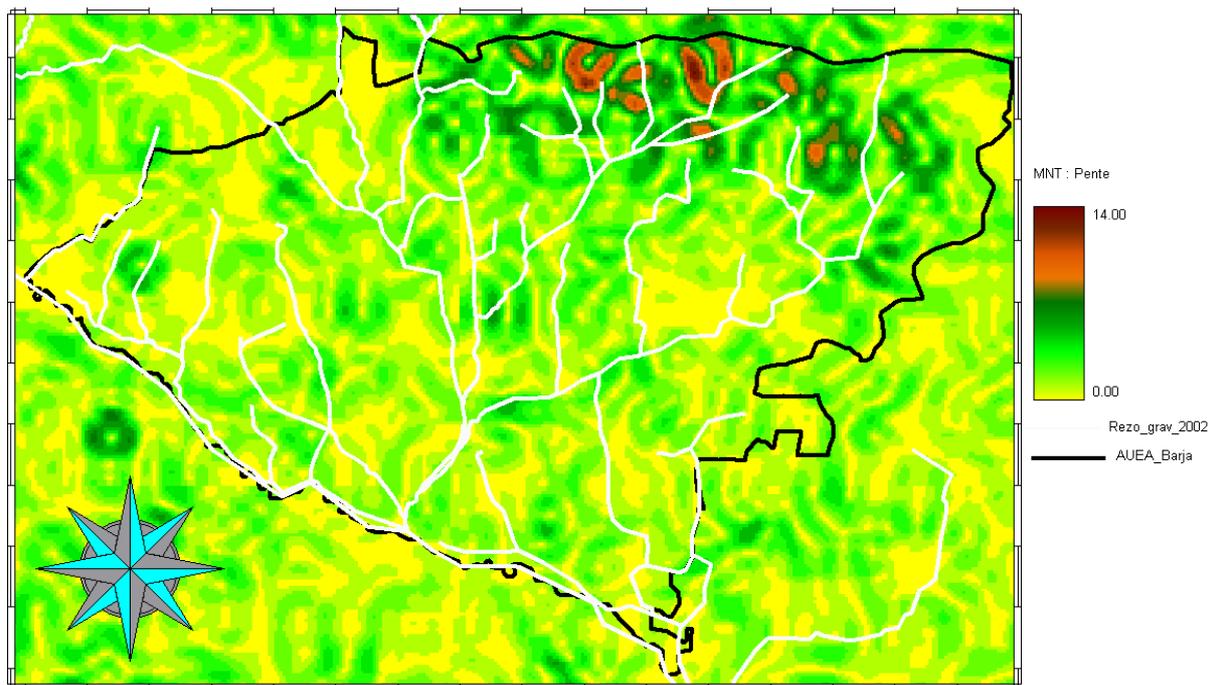


Figure 42 : Carte des pentes en degrés

La carte des pentes nous confirme que les dénivelés sont peu importants et oscillent généralement aux alentours du 0°.

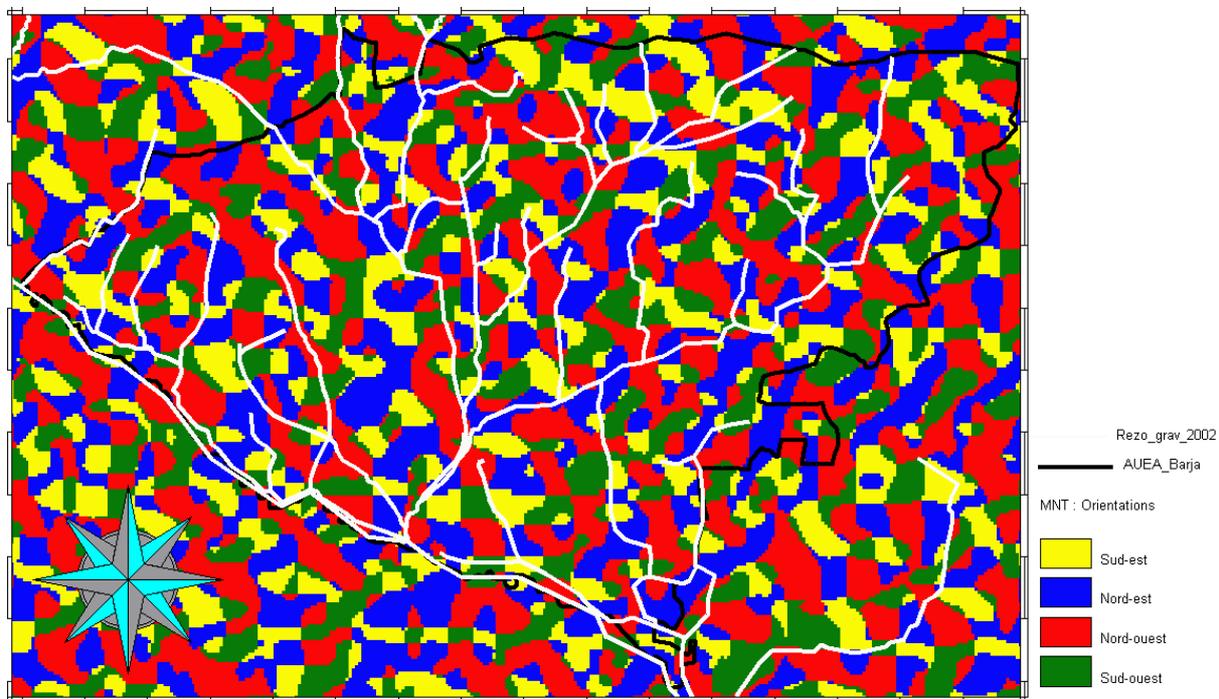


Figure 43 : L'orientation des pentes

La carte des orientations montre que le réseau gravitaire de *mesref* emprunte toutes les pentes y compris celle qui sont orientées Nord (contre-pentes). La cause est que les pentes sont faibles et n'empêchent pas l'eau de circuler.

2.Composition colorée et indices de végétation SPOT

Les trois canaux de la relation SPOT_230702 peuvent être traités afin de créer des compositions colorées. Nous avons choisit d'utiliser une composition en fausses couleurs standard tel que :

ROUGE	VERT	BLEU
XS3	XS2	XS1
780 à 890 nanomètres	610 à 680 nanomètres	500 à 590 nanomètres

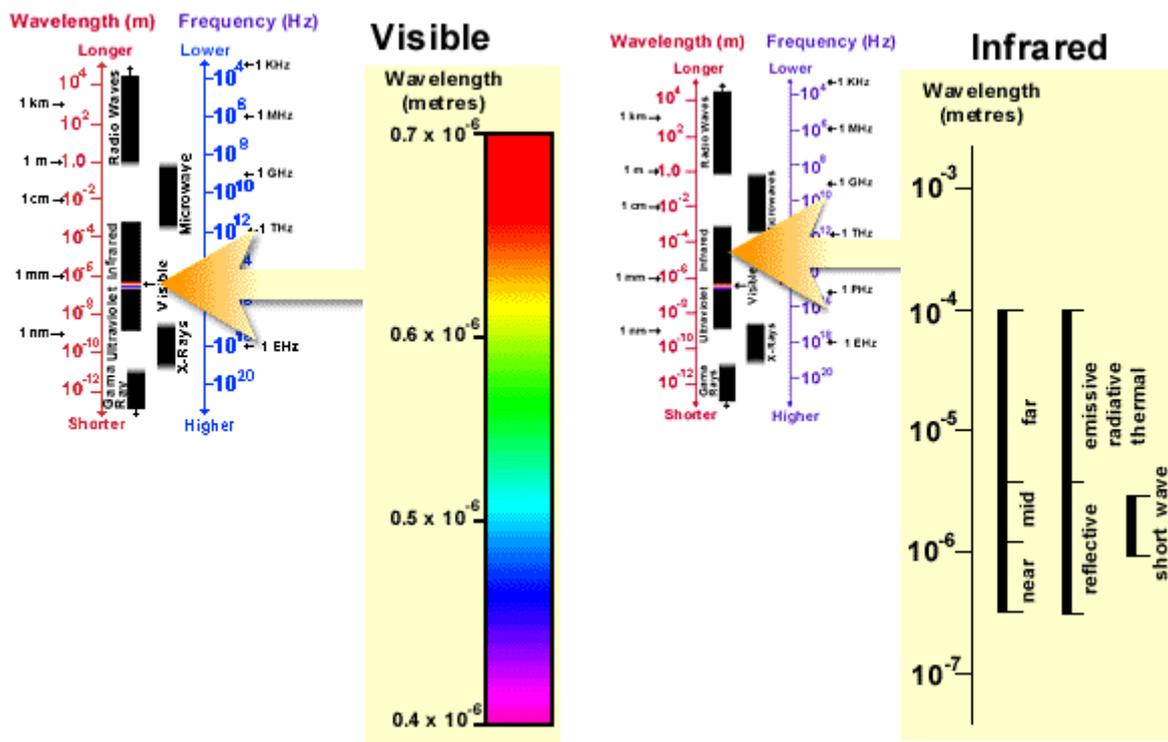
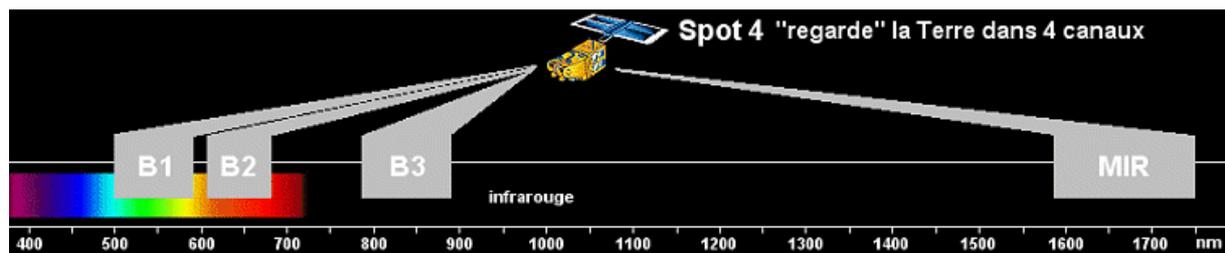


Figure 44 : Les longueurs d'onde pour les bandes XS1 (B1), XS2 (B2), XS3 (B3)



Figure 45 : Composition colorée SPOT en fausses couleurs standards

Le rouge sur la composition correspond au canal XS3. Le canal infrarouge (XS3) captant les longueurs d'onde de 0,79 à 0,89 micromètres, permet d'identifier l'activité chlorophyllienne des végétaux. Ainsi nous voyons sur l'image des cultures au mois de juillet 2003, et dont le stade phénoménologique renvoi de la lumière dans l'intervalle du spectre électromagnétique donné ci-dessus. A cette saison les cultures en croissance sur cette zone sont surtout la luzerne et la vigne. Plus la couleur sur l'image tend vers le **bleu clair**, plus le sol est dénudé. Ainsi nous identifions bien les surfaces non cultivées (à cette saison dans la plupart des cas). Il s'agit en majeure partie des champs de céréales (blé, orge) ayant été fauchés au mois de juin. Il peut s'agir également des terres non cultivées car en litige entre deux *douar*. La couleur **turquoise**, marque la présence de surfaces minérales dense, tel que le goudron des routes, et les métaux en général. On voit ici la route goudronnée au nord, ainsi qu'un bâtiment métallique (ferme, étable) au sud-est. La **texture piquetée régulière** de l'image nous informe sur la présence de vergers (oliviers, abricotiers). Les cultures intercalaires et en sous étage sont repérables par la superposition d'un rouge annonçant une culture fourragère en sous étage et un vergers d'arbres fruitiers au

dessus. L'allure générale du parcellaire montre bien la **structure du micro parcellaire** caractérisant la zone d'étude.

SAVANE permet également de réaliser un nombre important d'indices de végétation.

Ainsi :

- RVI
- NDVI
- TNDVI
- Tassel Cap
- PVI
- DVI
- WDV
- SAVI
- TSAVI
- IPVI
- MSAVI
- MSAVI2
- ARVI

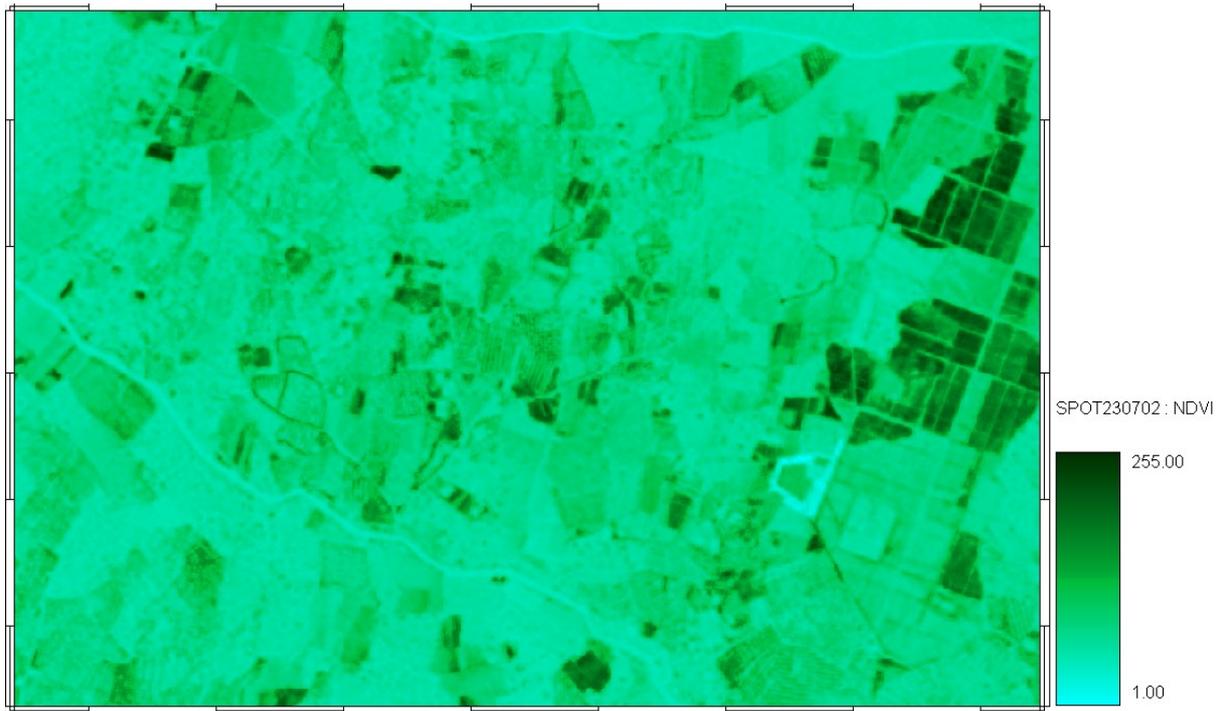


Figure 46 : $NDVI = (XS3 - XS2)/(XS3 + XS2)$

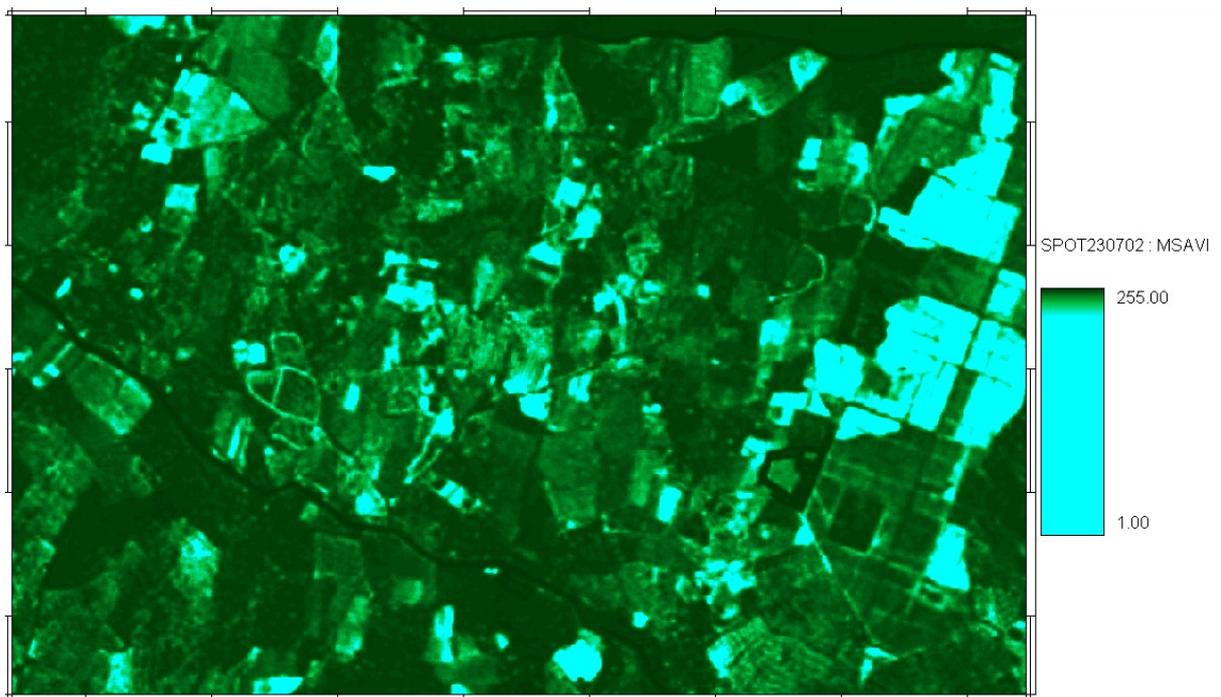


Figure 47 : $MSAVI = [2XS3+1-\sqrt{((2XS3+1)^2-8(XS3-XS2))}]/2$

Les indices de végétation permettent de faire ressortir les formations végétales dont l'activité chlorophyllienne est significative. Ainsi le MSAVI, grâce à un seuillage des valeurs, met bien en valeur les cultures fourragères (luzerne) et certains feuillus à la lisière des champs.

3.Essai de cartographie de l'occupation des sols

SAVANE ne permet pas de réaliser des classifications dirigées afin de construire des cartes d'occupation du sol. Nous avons donc utilisé le logiciel IDRISI KILIMANJARO. Cette cartographie est délicate à cause du micro parcellaire de la zone. Les signatures spectrales ne sont pas claires et ne permettent pas une précision suffisante dans la classification, qui permettrait en outre de faire ressortir les cultures en double étage, les types de vergers, la vigne, etc. Nous avons réalisé un essai qui fait apparaître 4 classes (Cf. Figure 45 et 46). Compte tenu des droits sur l'image utilisée (problème d'échange entre laboratoires IRD) nous ne sommes pas allés plus loin dans les traitements.

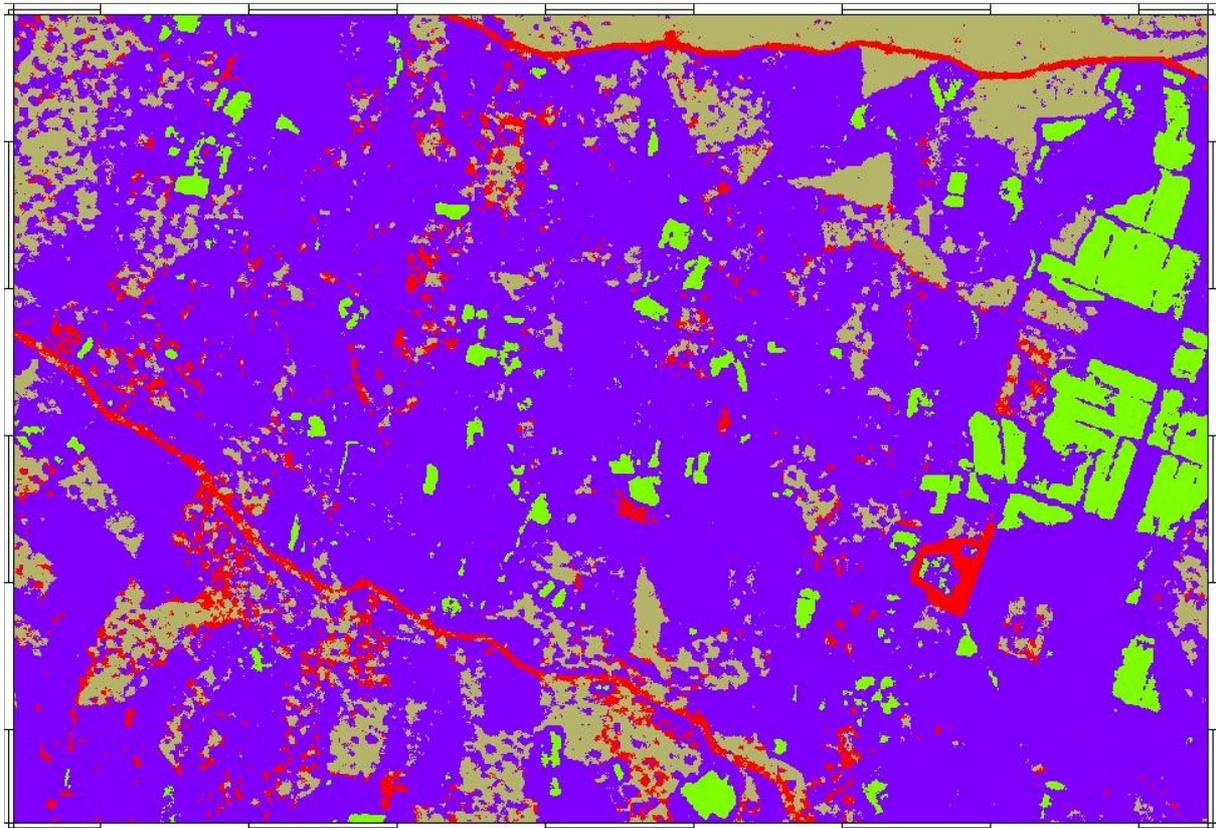


Figure 48 : Image de l'occupation des sols

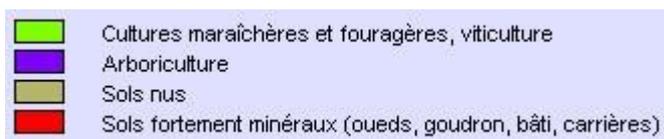


Figure 49 : Légende de la carte d'occupation des sols

4. Répondre aux questions de base par des jointures

Les jointures simples permettent facilement de lier les tables entre elles et de questionner la base de donnée SAVGIS. Ces questions peuvent être :

- Quel est le nom de l'usager de cette parcelle ?
- Quelles sont les parcelles utilisées par cet usager ?
- Quelle borne/quel canal utilise cette parcelle ?
- Etc.

Lors des entretiens réalisés auprès des cadres coutumiers de l'irrigation (*farak*, *amazel*, exploitants) nous avons pu nous rendre compte de l'importance de ces questions. Les personnes enquêtées expriment le besoin de connaître ces informations et de les situées afin de répondre à des questions de localisation des canaux par exemple.

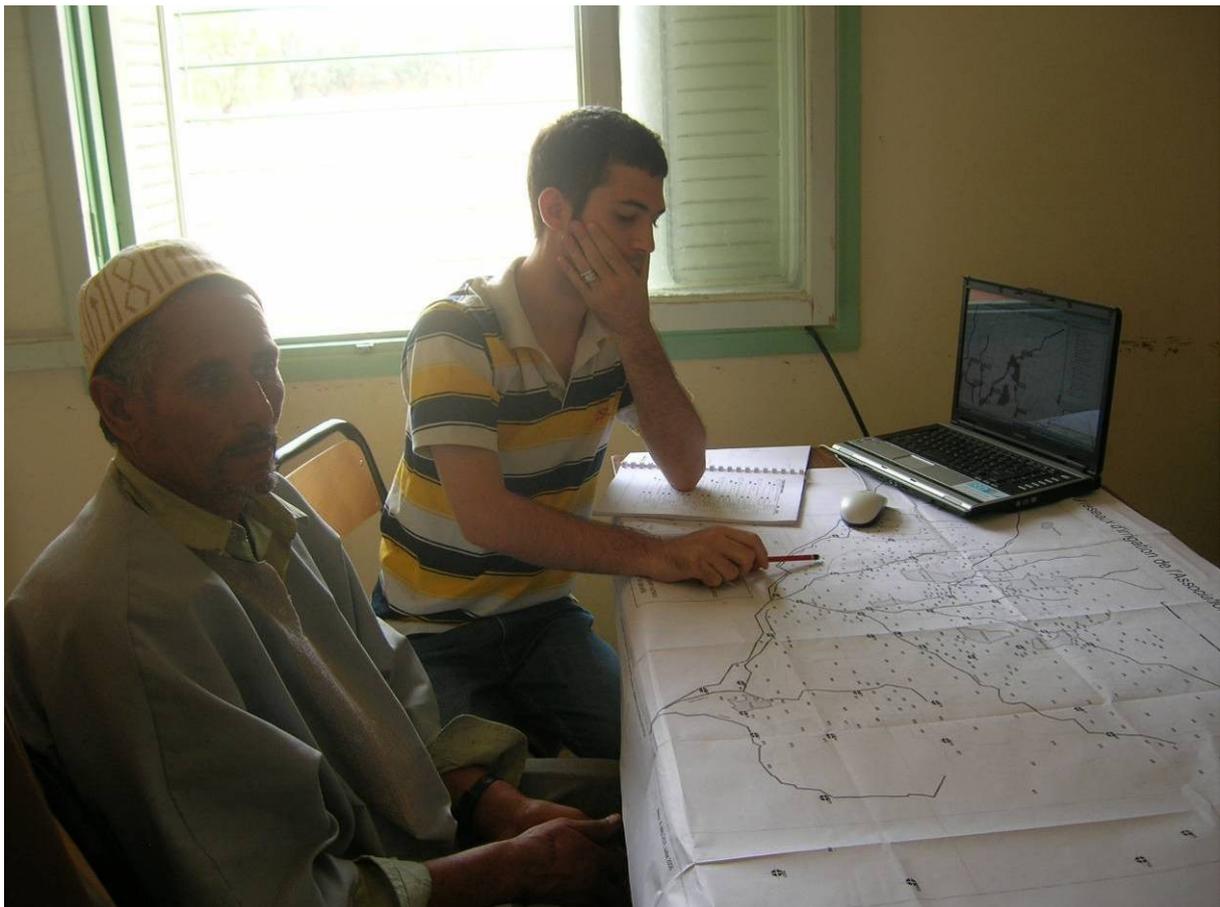


Figure 50 : Séance d'entretiens auprès du *farak de Barja*

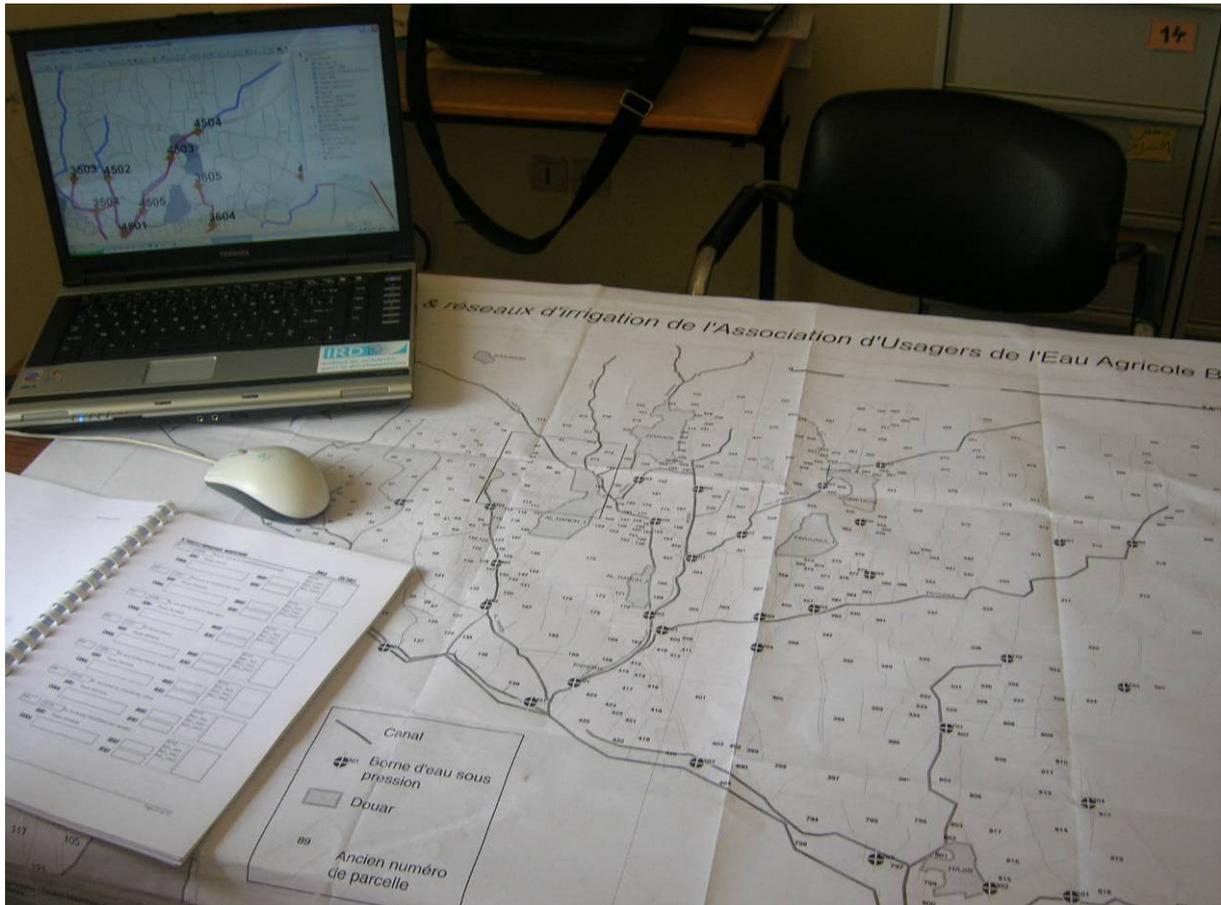


Figure 51 : Carte (A0) du réseau d'irrigation réalisée sous SAVGIS

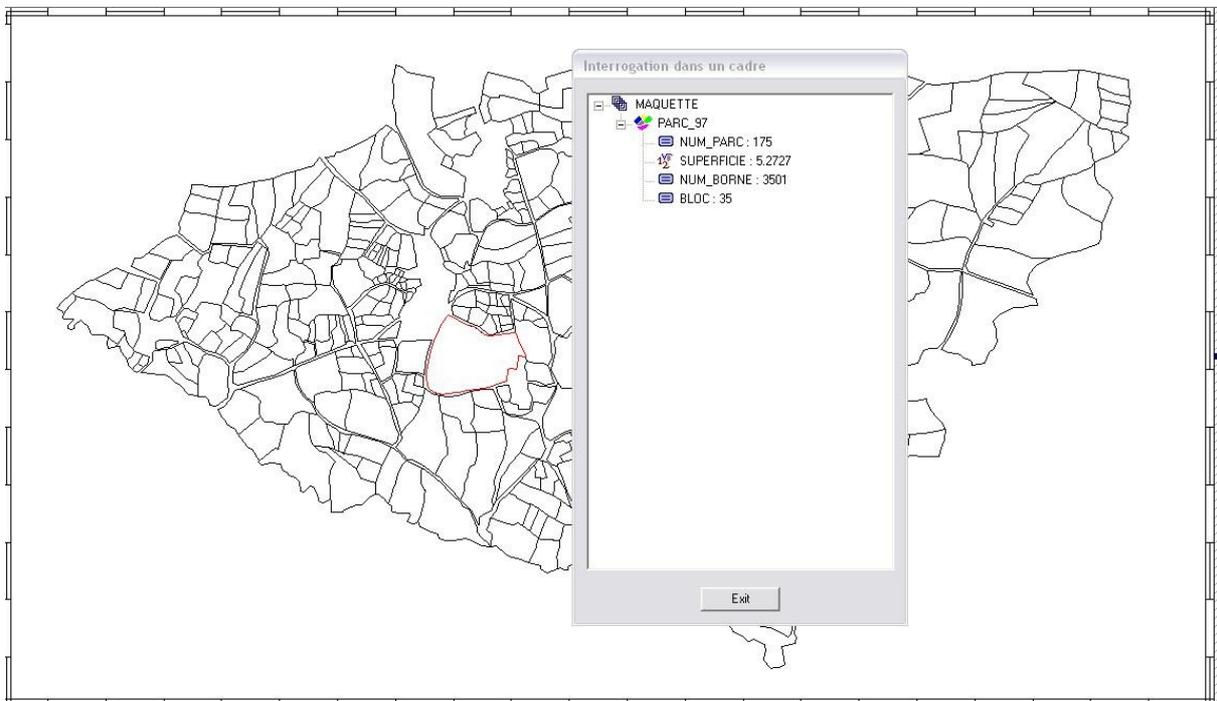


Figure 52 : Exemple d'une interrogation sur la carte

5. Cartographier les unités socio hydrauliques pertinentes

La cartographie des unités socio hydrauliques s'est basée d'une part sur les données fournies à l'ORMVAH sur le secteur sous pression N4, d'autre part sur une « enquête test » sensée alimenter la base sur l'irrigation coutumière. Nous avons ainsi pu identifier des unités dites « modernes » et des unités dites « coutumières ».

a) Les unités socio hydrauliques modernes

Les unités modernes correspondent d'une part au bloc hydraulique (NUM_BLOC) et présent dans la base SAVGIS au sein de la relation BORNES. En liant la relation BORNE à la relation PARCELLE grâce à la relation PARC_BORNE (cardinalité de plusieurs à plusieurs), nous reconstituons les blocs hydrauliques de l'AUEA Barja. D'autre part, les unités modernes correspondent également à des « unité-borne » composées par les parcelles utilisant les mêmes bornes.

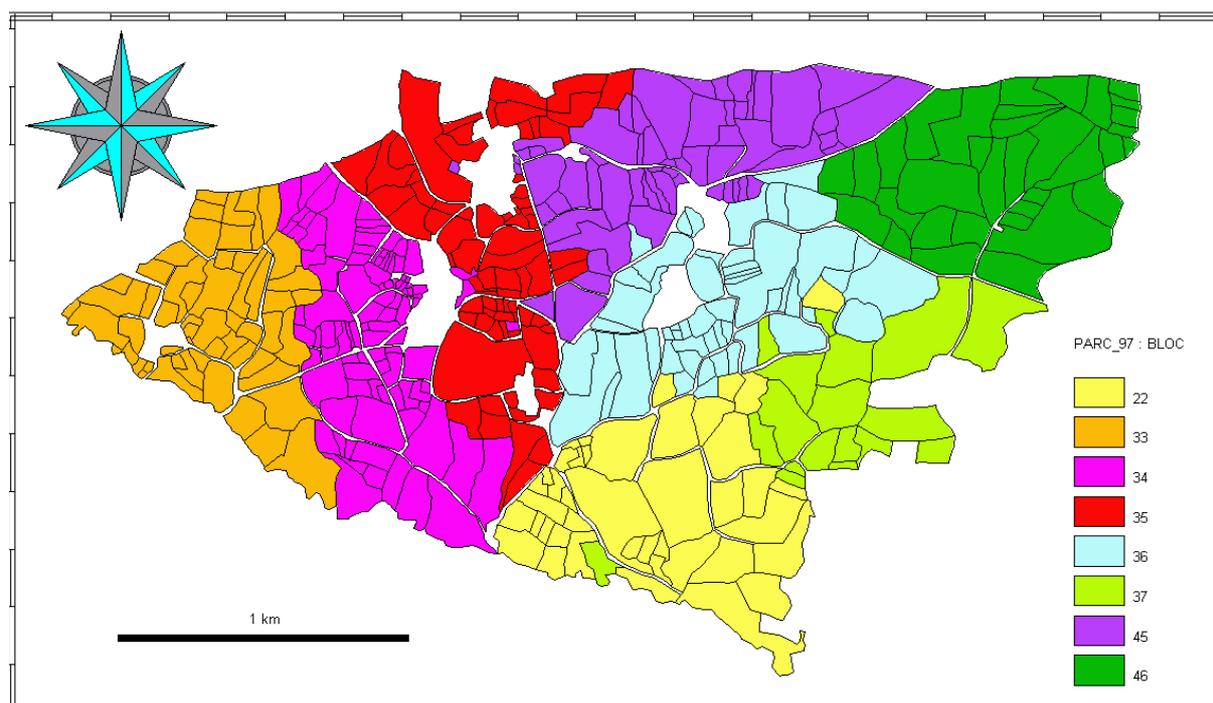


Figure 53 : Les blocs hydrauliques de l'ORMVAH dans l'AUEA Barja

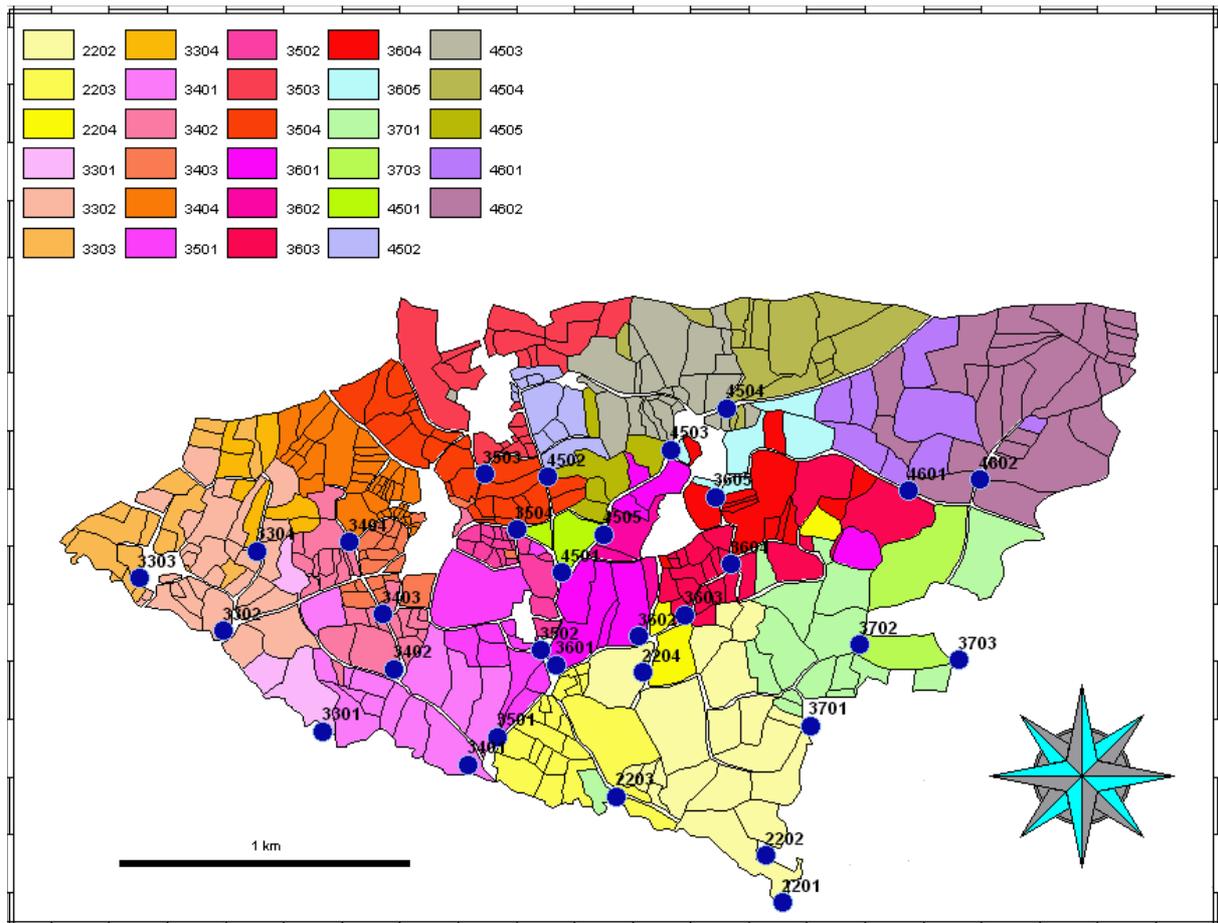


Figure 54 : Les unités spatiales d'alimentation de chaque borne

La figure 51 affiche des quartiers hydrauliques définis par l'utilisation d'une seul et même borne.

b) Les unités socio hydrauliques coutumières

Nos enquêtes ont montré que la distribution coutumière de l'eau empruntant le réseau gravitaire se fait en fonction du lignage de l'ayant droit. Chaque lignage possède un droit d'eau exprimé en temps d'irrigation qui est réparti entre les membres. L'irrigation des parcelles se fait lignage par lignage selon un ordre établi au début de l'année agricole. Nous avons donc cartographié cette répartition lignagère des parcelles à partir de la donnée LIGNAGE situées dans la relation USAGER et issue de notre enquête. La jointure entre les tables PARCELLE et USAGER à partir de la relation PARC_USAGER nous a permis cartographier les 4 *jmâa* lignagères de l'AUEA. On note la dispersion des parcelles d'un lignage, fruit de la succession des héritages. Il existe 4 « grandes familles » :

- BELAYD

- BEN YADINI
- ENNIOU
- HACHOUM

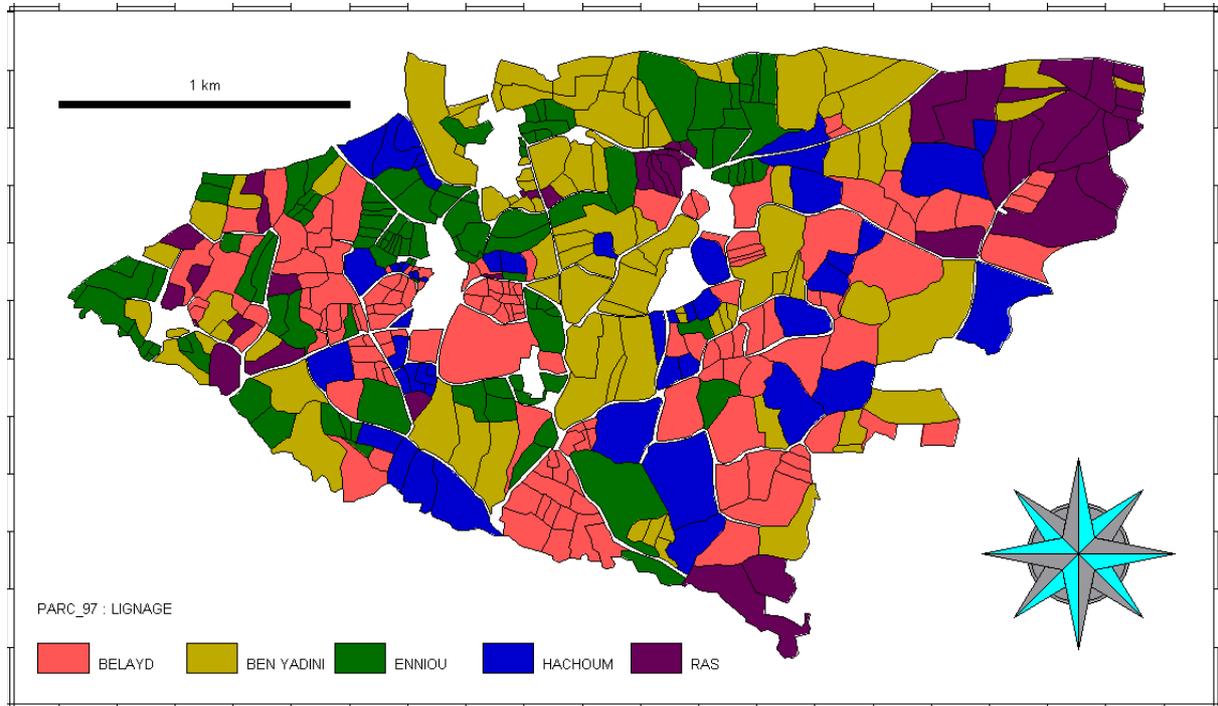


Figure 55 : les unités hydrauliques par le lignage

La base de donnée contient l'adresse de l'utilisateur. En joignant les relations PARCELLE et USAGER grâce à la relation PARC_USAGER nous pouvons cartographier des limites de *douar* déterminées par l'ensemble des parcelles utilisées par les habitants du *douar*. Cependant, l'adresse d'un usager nous permet-elle de reconstituer un finage villageois ? Le finage villageois est-il encore aujourd'hui défini par les parcelles appartenant aux membres de la communauté du *douar* ? L'image ci-dessous montre que des agriculteurs d'autres *douar* exploitent des parcelles situées dans les *douar* de *Barja*. Il existe 4 *douar* dans *Barja* (l'orthographe varie selon les sources) :

- ZEMRANE
- CHEMS
- AL HARCH
- FATOUAKA

NB : Nous rappelons que *Barja* est un regroupement de douars.

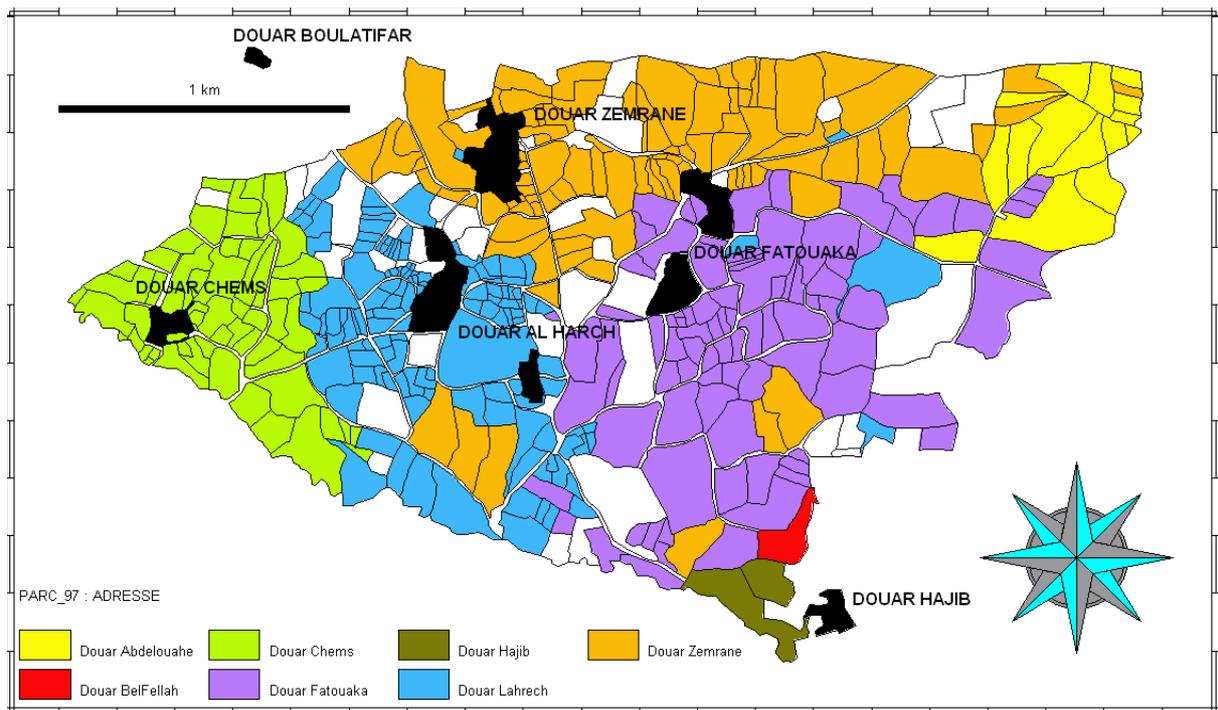


Figure 56 : Le finage du douar par l'adresse de l'utilisateur

La carte des adresses montre que les parcelles d'un *douar* sont relativement groupées. Quelques-unes sont dispersées dans le finage voisin. On remarque surtout que certaines parcelles sont exploitées par des agriculteurs de *douar* étrangers (*BelFellah ; Abdelouahe, Hajib*). Il est intéressant de noter que l'ensemble des parcelles mises en valeur par les habitants du *douar Chems* constitue le bloc hydraulique 33 (Cf. Figure 53).

V. Conclusion

Au cours de ces chapitres, nous avons essayé de montrer comment il était possible de conceptualiser un Système d'Information Géographique traitant de la gestion sociale de l'irrigation. Situé à l'interaction entre les sciences de la société, l'ingénierie hydraulique et les sciences de la terre, un tel système est un modèle complexe d'interrelations entre des ensembles divers d'objets et d'acteurs. Nous récapitulerons entre autres les différentes structures des réseaux, les unités spatiales formées par la distribution de l'eau, les choix des agriculteurs concernant l'emploi et la localisation de leur irrigation, les éléments du milieu naturel, etc. (II). La modélisation de ces objets, de leurs liens et de leurs spécificités, a constitué une partie importante du travail de recherche. Afin de tester notre modèle, et ainsi d'apporter l'ébauche d'un outil de recherche aux commanditaires de ce stage, nous avons choisit d'élaborer une maquette sous le logiciel SAVGIS. Cette maquette a eu pour objectif de mettre en œuvre les principaux choix méthodologiques et les principaux traitements permettant de répondre à la problématique dans la mesure des données acquises. SAVGIS s'avère être un outil adapté, quoique difficile d'abord pour les non initiés.

Dans la perspective d'un prochain travail de recherche dans le domaine de la gestion de l'irrigation, nous pensons qu'il faudrait d'une part, mettre en œuvre la question de la modélisation des jeux d'acteurs et de leurs influences sur les dynamiques spatiales au sein des terroirs irrigués, et d'autre part, organiser une importante collecte de données sur la question de la distribution coutumière de l'eau et des droits. Plusieurs modèles multi agents ont été développés par le CIRAD notamment, sur la question de la gestion de l'eau agricole. Ces modèles sont des bases pouvant être adaptées à la spécificité d'un terrain et à des questions de recherche, par la programmation informatique. Le couplage avec les SIG offre d'intéressantes perspectives car il pourrait permettre de simuler des dynamiques spatiales, évolutions possibles des territoires socio hydrauliques, en fonction de scénarii élaborés par une équipe de chercheurs pluridisciplinaire. On rejoindrait ici un des objectifs de départ, n'ayant pas pu être traité pour des questions de droit sur la donnée, qui concernait la cartographie de l'évolution des mises en culture par rapport à l'évolution des systèmes d'irrigation. L'avantage serait d'avoir une vision dynamique de l'espace, alors que dans le modèle développé ici, les objets sont figés.

Un tel travail demande un lot de données conséquent, et notre étude a pointé au contraire, un manque important sur l'irrigation coutumière.

VI. Bibliographie

ABLAT, B., ROUCHDI, M., EMRAN, A. et al. La cartographie thématique et le développement. [En ligne]. Disponible sur : http://www.fig.net/pub/morocco/proceedings/TS3/TS3_7_ablat_et_al.pdf. (Page consultée le 26/08/2006)

APPOLIN, F., EBERHART, C. Synthèse du 2^{ème} séminaire et guide méthodologique : méthode de diagnostic d'un système irrigué pour le renforcement de la prise en charge de sa gestion par une association d'irrigants. Synthèse du séminaire "Méthodes de diagnostic d'un système irrigué". 2000. 82p.

ARAB, R., MINELLI, F., PIROT, F. De la modélisation à l'implémentation : proposition d'une méthodologie pour le recensement des mares dans le Nord-Pas-de-Calais. In : Communication SIG 2005. [En ligne]. Disponible sur : <http://www.esrifrance.fr/sig2005/communications2005/pirot1/pirot1.htm>. (Page consultée le 26/08/2006)

AUBRIOT, A. Comment « lire » un système d'irrigation ? Une approche pour l'étude des systèmes irrigués traditionnels, illustrée de cas pris au Népal. Document de Travail n° 8. Université catholique de Louvain. Département des Sciences de la Population et du Développement. 2000. 20p.

BADUFLE, G. Principes et caractéristiques de la discrétisation. In : Site SOS Histoire Géographie. Se former à l'Internet et aux TICE & Hist-Géo. [En ligne]. Disponible sur : <http://soshg.free.fr/formation/discretisation.htm>. (Page consultée le 26/08/2006)

BARRETEAU, O., BOUSQUET, F., ATTONATY, J.M. Role-playing games for opening the black box of multi-agent systems: method and lessons of its application to Senegal River Valley irrigated systems. In : Journal of Artificial Societies and Social Simulation vol. 4, no. 2. Disponible sur : <http://www.soc.surrey.ac.uk/JASSS/4/2/5.html>. (Page consultée le 26/08/2006)

BECU, N. Modélisation de la gestion de l'eau d'irrigation à l'échelle d'un bassin versant et exploration d'un système via simulation. Mémoire de DEA, Sciences de l'Eau dans l'Environnement Continental. Montpellier : 2001, 128p.

BESSAOUD, O. Les organisations rurales au Maghreb : un essai d'évaluation de leur rôle dans le développement agricole et rural. Communication séminaire SFER- 7-9 Novembre 2005. 13p.

BOULEAU, N. La modélisation comme langage et la question de la connaissance utile. In : Site de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées. [En ligne]. Disponible sur : <http://www.enpc.fr/HomePages/bouleau/papiers/c38.htm>. (Page consultée le 26/08/2006)

BOUSQUET, F. Modélisation d'accompagnement. Simulations multi-agents et gestion des ressources naturelles et renouvelables. Mémoire pour l'obtention de l'Habilitation à Diriger les Recherches de l'Université de Lyon 1. Lyon : 2001, 71p. Disponible sur : <http://cormas.cirad.fr/pdf/hdrbousquet.pdf>. (Page consultée le 26/08/2006)

BOUSQUET, F., GAUTIER, D. Comparaison de deux approches de modélisation des dynamiques spatiales par simulation multi agent : les approches spatiales et acteurs. [En ligne]. Disponible sur : <http://www.cybergeopresse.fr/modelis/bousquet/bousquet.htm>. (Page consultée le 26/08/2006)

BOUSQUET, F., LE PAGE, C., MÜLLER, J.P., Modélisation et simulation multi-agent. [En ligne]. Disponible sur : <http://sis.univ-tln.fr/gdri3/fichiers/assises2002/papers/09-ModelisationEtSimulationMultiAgents.pdf>. (Page consultée le 26/08/2006)

COURET, D., LORTIC, B., RAKOTOMALALA, P. Télédétection de la dynamique du bâti dans le périmètre du grand Abidjan. In : Site de l'IRD Ile-de-France. [En ligne]. Disponible sur : http://www.bondy.ird.fr/cvd/BNETD/Page_0.htm. (Page consultée le 26/08/2006)

FERBER, J. Les Systèmes Multi-Agents : Vers une intelligence collective. Paris: InterEditions. 1995.

FINET, A. Diagnostic des systèmes de production du périmètre irrigué du N'Fis (Maroc). Un aménagement aux résultats contradictoires. Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du Diplôme d'Ingénieur en Agriculture. Montpellier : 2002, 76p.

GRIMM, V. Ten years of individual-based modelling in ecology: what have we learned and what could we learn in the future ? Ecological Modelling 115. 1999. p. 129-148.

HAUBOURG, R. Mise en place d'un SIG de gestion opérationnelle d'un périmètre irrigué. Géomatique. Montpellier : 2003, 56p. Disponible sur : <http://sol.ensam.inra.fr/SILAT/Projets/Haubourg.pdf>. (Page consultée le 26/08/2006)

JOLLY, G. Gestion de l'eau dans le N'Fis (Haouz de Marrakech) et mise en place des Associations d'Usagers d'Eau Agricole. Synthèse de stage CNEARC-GSE. 2000. 64p.

LANGLOIS, H. Essai de géographie historique sur la basse vallée de Seine : l'apport d'un SIG. In : Communication SIG 2005. [En ligne]. Disponible sur : <http://www.esrifrance.fr/sig2005/communications2005/pirot2/pirot2.htm>. (Page consultée le 26/08/2006)

LIMAME, N., BERJAMY, B. Système d'information géographique et Bases de données de gestion des ressources en eau dans le bassin du Tensift. In : Euro-Mediterranean Information System on the know-how in the Water sector. [En ligne]. Disponible sur : http://www.emwis.org/documents/doc/20050428_ABH-Tensift.doc. (Page consultée le 26/08/2006)

MAILLE, E., ESPINASSE, B. Du couplage de systèmes à l'intégration spatiotemporelle dans les systèmes d'aide à la décision spatiale. [En ligne]. Disponible sur :

<http://smaget.lyon.cemagref.fr/contenu/SMAGET%20proc/PAPERS/Maille.pdf>. (Page consultée le 26/08/2006)

MOISUC, B., GENSEL, G. MARTIN, H. Représentation de connaissances par objets pour les SIG à représentations multiples. [En ligne]. Disponible sur : <http://www-lsr.imag.fr/Les.Personnes/Bogdan.Moisuc/files/MoisucCassini.doc>. (Page consultée le 26/08/2006)

OUZINE, L., KHARROU, M.H. Conception participative des projets d'irrigation dans le périmètre du Haouz. Actes du Séminaire "Modernisation de l'Agriculture Irriguée". Thème 4 : Rôle des institutions pour la modernisation de l'agriculture irriguée : Entre action collective et pilotage de l'Etat dans les petites exploitations agricoles familiales. Rabat, du 19 au 23 avril 2004. P.2-11.

OUZINE, L., KHARROU, M.H., RAKI, M. Droits d'eau sur seguia et modalités pratiques en système irrigué du Haouz de Marrakech : le cas de la seguia Tamzguelft. Rapport pour le compte de la commission européenne. Programme Régional Euro-Méditerranéen pour la gestion locale de l'eau ME8/AIDCO/2001/0515/59763-P 016. 2006. 77p.

PAUTRET, S. Le SIG sur le lagon sud-ouest de Nouvelle-Calédonie : de la maquette vers un outil opérationnel. Projet professionnel du Mastère SILAT. Montpellier : 2001, 71p. Disponible sur : http://www.coreus.ird.fr/documents/rapports_stage/pautret2001.pdf. (Page consultée le 26/08/2006)

PELLE, S. Fiche de lecture de "UML en français". In : Site de Stéphane Pelle. [En ligne]. Disponible sur : http://www.ensg.ign.fr/%7E Espelle/uml_vs_hbds.pdf. (Page consultée le 26/08/2006)

PELLE, S. La Théorie des Graphes. In : Site de Stéphane Pelle. [En ligne]. Disponible sur : <http://www.ensg.ign.fr/%7E Espelle/TheorieGraphes.pdf>. (Page consultée le 26/08/2006)

PELLE, S. Quelques conseils pour modéliser des données géographiques. In : Site de Stéphane Pelle. [En ligne]. Disponible sur : <http://www.ensg.ign.fr/~spelle/HBDSConseils.htm>. (Page consultée le 26/08/2006)

PIROT, F., SAINT GERAND, T. ARC INFO : un logiciel pour thématicien. Bilan de 10 années d'expérience de formation par la recherche dans le secteur des sciences de l'Homme et de la société. In : SIG 2003. Acte de la conférence francophone d'ESRI. SIG 2003. [En ligne]. Disponible sur : http://www.esrifrance.fr/actu/sig2003/Communication/pirot/pirot_esri.htm. (Page consultée le 26/08/2006)

ROCLE, N. Gestion des eaux et superposition de réseaux sur la segouia Jbelia, périmètre du N'fis, Haouz de Marrakech, royaume du Maroc. Mémoire en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur de l'ENGEES-Ingénieur des Travaux Ruraux. Montpellier : 2005, 165p.

RODRIGUE, J.P. Théorie des graphes: définition et propriétés. In : Géographie des transports. [En ligne]. Disponible sur : <http://www.geog.umontreal.ca/Geotrans/fr/francais.html>. (Page consultée le 26/08/2006)

SALIGNY, L. Glossaire et notions fondamentales pour la modélisation. In : Atelier thématique «Archéologie et Systèmes d'Information Géographique» Marcoux, 4–8 novembre 2002. [En ligne]. Disponible sur :

SOURIS, M. Site de SAVGIS. [En ligne]. Disponible sur : <http://www.star.ait.ac.th/~souris/savane.htm>. (Page consultée le 26/08/2006)

URBANI, D., DELHOM, M. Gestion intégrée de l'alimentation en eau à l'aide d'un système hybride SMA-SIG. In : Communication SIG 2005. [En ligne]. Disponible sur : <http://www.esrifrance.fr/sig2005/communications2005/urbani/urbani.htm>. (Page consultée le 26/08/2006)

YANOOGO, A.A. Gestion participative de l'irrigation dans le périmètre du N'Fis (ORMVAH Haouz) : le cas des AUÉEA Tizemt et Tazakourt. Quel partenariat ORMVAH-Usagers dans la gestion de l'irrigation ? Mémoire de troisième cycle en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'Etat en Agronomie. Rabat : Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, 2004, 211p.

ZIN, J. Idéologie des réseaux et théorie des systèmes. [En ligne]. Disponible sur : <http://perso.orange.fr/marxiens/sciences/reseaux.htm>. (Page consultée le 26/08/2006)

VII. Annexes

A. Synoptique des classes du MCD

Classe	Attribut	Type	Longueur	Valeurs possibles
Usager	Num_usager	Text	6	NC
	Nom_usager	Text	40	NC
	Adresse	Text	40	Valeurs de l'attribut ID de la classe Douar
	Lignage	Text	40	Valeurs de l'attribut ID de la classe Lignage
	Droit_pression	Réel simple	NC	= (valeurs de l'attribut superficie de la classe Parcelle) * (valeurs de l'attribut Dotation de la classe Eau sous-pression)
	Droits séguia	Réel simple	NC	
Canaux	ID	Text	9	ND
	Nom	Text	40	ND
	Rang	Text	40	Séguia ; Guern ; mesref
	Géométrie	Ligne	ND	
Répartiteurs	ID	Text	9	ND
	Nom	Text	40	ND
	Nbre_portes	Entier	1	ND
	Géométrie	Ligne	ND	
Forage	ID	Text	6	ND
	Num_Usager	Text	40	ND
	Géométrie	Point	ND	
Conduite	Num_conduite	Text	6	ND
	Rang	Text	40	Primaire ; Secondaire ; Tertiaire
	Géométrie	Ligne	ND	
Borne	Num_borne	Text	4	ND
	Num_bloc	Text	2	ND
	Débit	réel simple	ND	20
	Géométrie	Point	ND	
Oued	ID	Text	3	ND
	Nom	Text	40	ND
	Géométrie	Zone	ND	
Quartier Séguia	ID	Text	4	ND
	Nom_séguia	Text	40	Valeurs de l'attribut Nom de la classe Canaux
	Géométrie	Zone	ND	
Quartier Guern	ID	Text	6	ND
	Nom_guern	Text	40	Valeurs de l'attribut Nom de la classe Canaux
	Géométrie	Zone	ND	
Quartier lignager	ID	Text	8	ND
	Nom_lignage	Text	40	Valeurs de l'attribut Nom de la classe Jmâa
	Géométrie	Zone	ND	

Secteur	Num_secteur	Text	2	ND
	Géométrie	Zone	ND	
Sous-secteur	Num_ssecteur	Text	2	ND
	Géométrie	Zone	ND	
Bloc	Num_bloc	Text	3	ND
	Géométrie	Zone	ND	
Unité_forage	Num_forage	Text	40	ND
	Géométrie	Zone	ND	
AUEA	ID	Text	2	ND
	Nom_AUEA	Text	40	ND
	Géométrie	Zone	ND	
Douar	ID	Text	20	ND
	Nom_douar	Text	40	ND
	Jmâa	Text	20	Valeurs de l'attribut Nom de la classe Jmâa
	Géométrie	Zone	ND	
Parcelle	Num_parcelle	Text	10	ND
	Num_Usager	Text	10	Valeurs de l'attribut Num_usager de la classe Usager
	Superficie	réel simple	ND	
	Borne_util	Text	4	Valeurs de l'attribut ID de la classe Borne
	Canal_util	Text	6	Valeurs de l'attribut ID de la classe Canal
	Forage_util	Text	6	Valeurs de l'attribut ID de la classe Forage
	Culture	Text	4	Valeurs de l'attribut ID de la classe Culture
	AUEA	Text	2	Valeurs de l'attribut ID de la classe AUEA
	Jmâa	Text	4	Valeurs de l'attribut ID de la classe Jmâa
	Géométrie	Zone	ND	
Commune	ID	Text	5	ND
	Nom	Text	40	ND
	Géométrie	Zone	ND	
Province	ID	Text	2	ND
	Nom	Text	40	ND
	Géométrie	Zone	ND	
Cercle	ID	Text	2	ND
	Nom	Text	40	ND
	Géométrie	Zone	ND	
Eau de crue	Date_crue	Date	JJ/MM/AAAA	ND
	Durée	Réel simple	ND	
	Débit	Réel simple	ND	
	Oueds_util	Text	3	Valeurs de l'attribut ID de la classe Oued
	Géométrie	Non localisé	ND	
Eau du Barrage	ID_Barrage	text	2	ND
	Nom_Barrage	Text	40	ND
	Date_mesure	Date	JJ/MM/AAAA	ND
	Quantité	Réel simple	ND	
	Géométrie	Non localisé	ND	

Eau sous pression	Date_lâché	Date	JJ/MM/AAAA	ND
	Dotation_m3ha	Réel simple	ND	
	Bloc	Text	3	Valeurs de l'attribut ID de la classe Bloc
	Géométrie	Non localisé	ND	
Eau lâchée	Date_lâché	Date	JJ/MM/AAAA	ND
	Durée_h	Réel simple	ND	288
	Séguia	Text	9	Valeurs de l'attribut ID de la classe canaux
	Géométrie	Non localisé	ND	
Eau souterraine				
ORMVAH	ID_service	Text	2	NC
	Nom_service	Text	40	NC
	Adresse	Text	40	NC
	Géométrie	Non localisé	NC	
Représentant ORMVAH	ID_agent	Text	3	NC
	Nom	Text	40	NC
	Fonction	Text	NC	
	Géométrie	Non localisé	NC	
Jmâa				
Responsable Jmâa	ID_agent	Text	3	NC
	Nom	Text	40	NC
	Fonction	Text	10	Mohassib ;Amazel ;Farak ;Mojari
	Géométrie	Non localisé	NC	
ABHT	ID_service	Text	2	NC
	Nom_service	Text	40	NC
	Adresse	Text	40	NC
	Géométrie	Non localisé	NC	
Vent	ID_mesure	Text	6	NC
	Date_mesure	Date	JJ/MM/AAAA	NC
	Vitesse	Réel simple	NC	
	Géométrie	Point	NC	
Hygrométrie	ID_mesure	Text	6	NC
	Date_mesure	Date	JJ/MM/AAAA	NC
	Taux	Réel simple	NC	
	Géométrie	Point	NC	
Températures	ID_mesure	Text	6	NC
	Date_mesure	Date	JJ/MM/AAAA	NC
	Température	Réel simple	NC	
	Géométrie	Point	NC	
Précipitations	ID_mesure	Text	6	NC
	Date_mesure	Date	JJ/MM/AAAA	NC
	Température	Réel simple	NC	
	Géométrie	Point	NC	
Radiations	ID_mesure	Text	6	NC
	Date_mesure	Date	JJ/MM/AAAA	NC
	Température	Réel simple	NC	
	Géométrie	Point	NC	

Sol	ID_sol	Text	3	NC
	Nom_sol	Text	40	NC
	Caractéristiques			
	Géométrie	Zone	NC	
Elévations	ID_point	Text	6	NC
	Altitude	Réel simple	NC	
Aquifère				

B.Synoptique détaillé des manipulations réalisées sur SAVGIS

1.Construction de la base de données

a)Création d'une base TAMSGLEFT sous SAVATECA

Outil SAVATECA

Ouvrir SAVATECA avec le mot de passe utilisateur fournit par Marc SOURIS.

Menu BASE > CREER, consulter les cartes topographiques Mgueliz et Sidi Zouin et repérer les coordonnées du cadre en degrés, minutes.

Création d'une base de données géographiques

Nom de la base à créer :

Nom du répertoire devant contenir le répertoire de la base :

Point bas gauche

Longitude : degrés minutes Est Ouest

Latitude : degrés minutes Nord Sud

Point haut droit

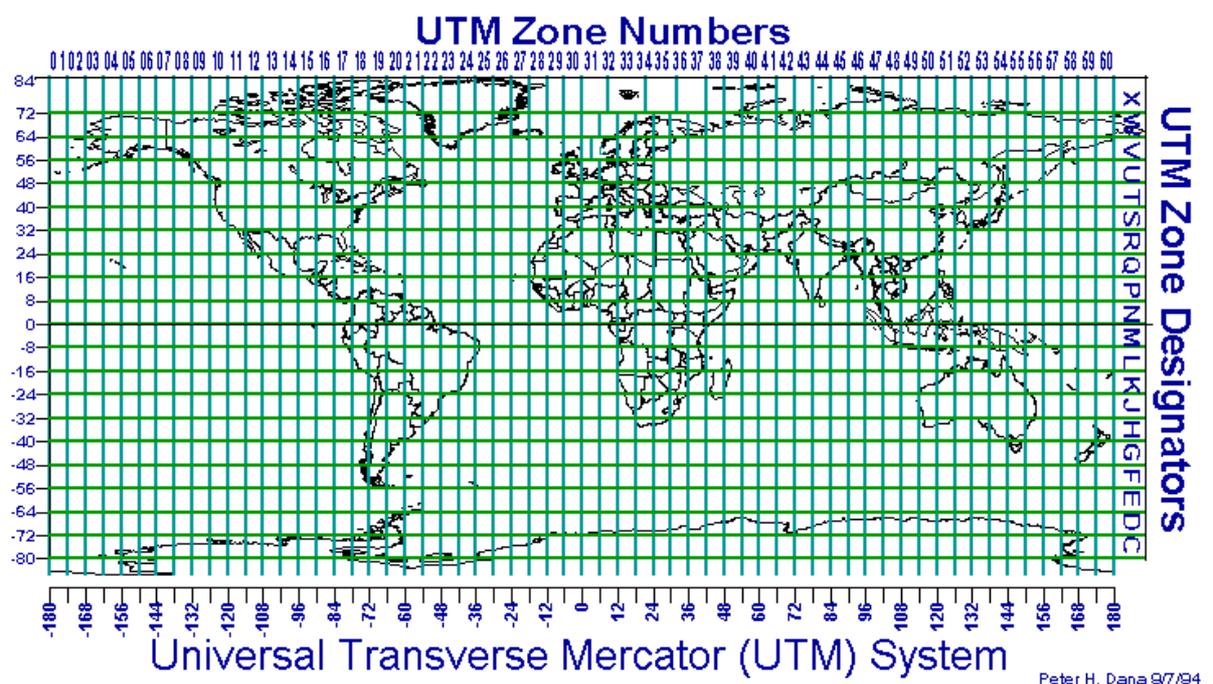
Longitude : degrés minutes Est Ouest

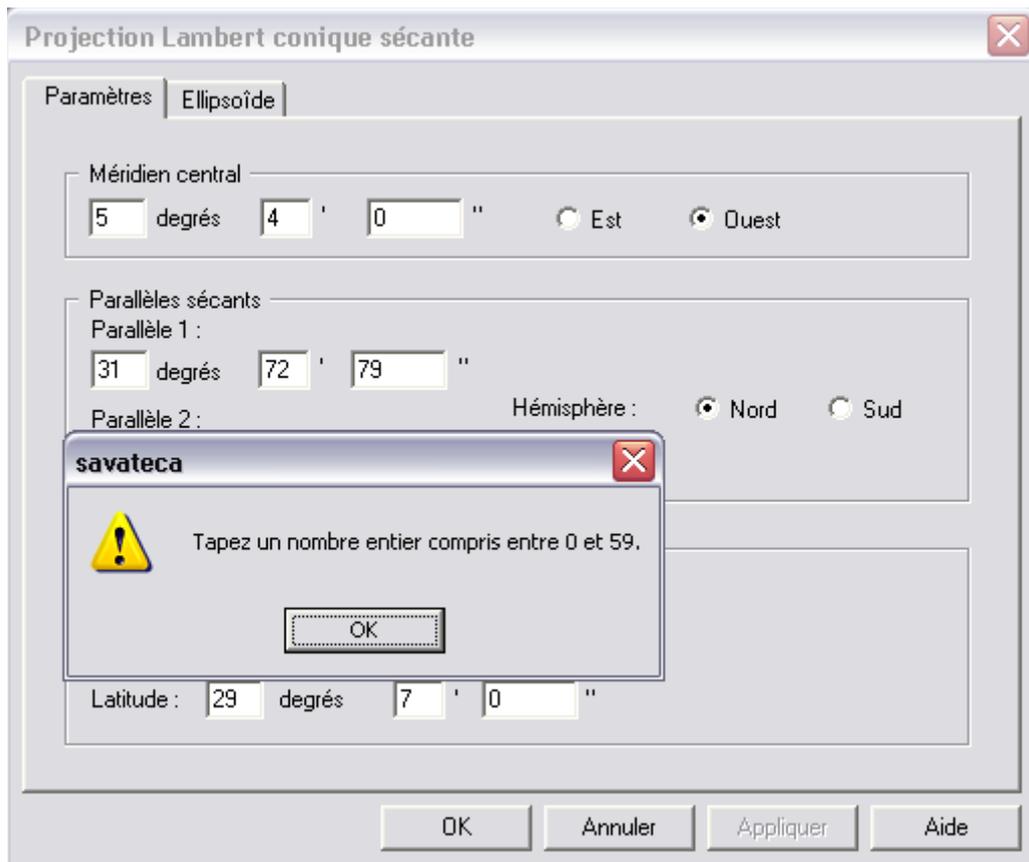
Latitude : degrés minutes Nord Sud

Menu MAP, définir la projection géographique souhaitée soit Lambert conique sécante :

Zone	Ellipsoïde	Méridien central (°)	Latitude référ. (°)	1 ^{er} parallèle standard (°)	2 ^{ème} parallèle standard (°)	Faux Est (m)	Faux Nord (m)
1	Clarke 1880	-5.4	33.3	31.7279	34.8717	500000	300000

Problème rencontré sur les parallèles sécants: le module n'autorise que les nombres entre 0 et 59 ! Le module demande les parallèles en degrés minutes seconde alors que n'avons l'information qu'en degrés décimaux. Nous avons donc choisit de travailler en UTM zone 29 sur le Datum Merchich.

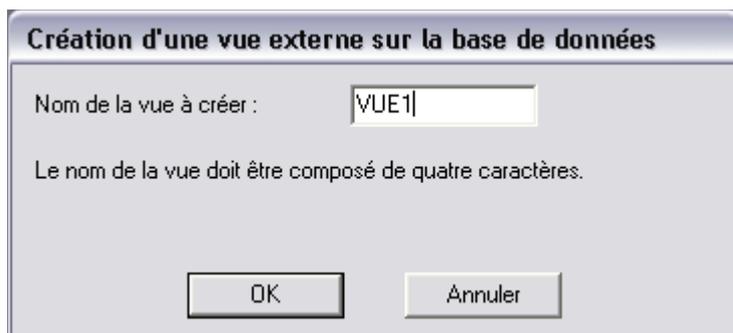




Menu UTILISATEUR > CREER, créer un premier utilisateur nommé THERMES dans le répertoire de la base.

Menu VUE EXTERNES > CREER, créer une première vue externe nommée VUE1





Menu SCHEMA > RELATIONS et ATTRIBUT créer les relations et les attributs selon le schéma de la base de donnée comme définit dans le Chapitre III « Construction d'une maquette sous SAVGIS ».

Pour la manipulation générale de SAVATECA nous renvoyons le lecteur au manuel de SAVATECA (SOURIS, HABERT) disponible gratuitement sur le net.

b)Intégration des fichiers Images

(1)Les cartes Topographiques

Outil SAVAMER

Pour ce qui est du calage et du mosaïquage des cartes topographiques nous renvoyons le lecteur aux chapitres A et C du manuel de SAVAMER (SOURIS, HABERT) téléchargeable gratuitement sur le site de SAVGIS.

Nos choix techniques ont été les suivants :

Scanner utilisé	Format de sortie	Résolution
Scanner A4 hp scanjet 2400	TIFF	600ppp

Type de redressement	Mode de redressement	Résolution et projection	Fenêtre de redressement
Polynomiale de 1 ^{er} degré	Au plus proche voisin	1 m pixel	Toute la fenêtre

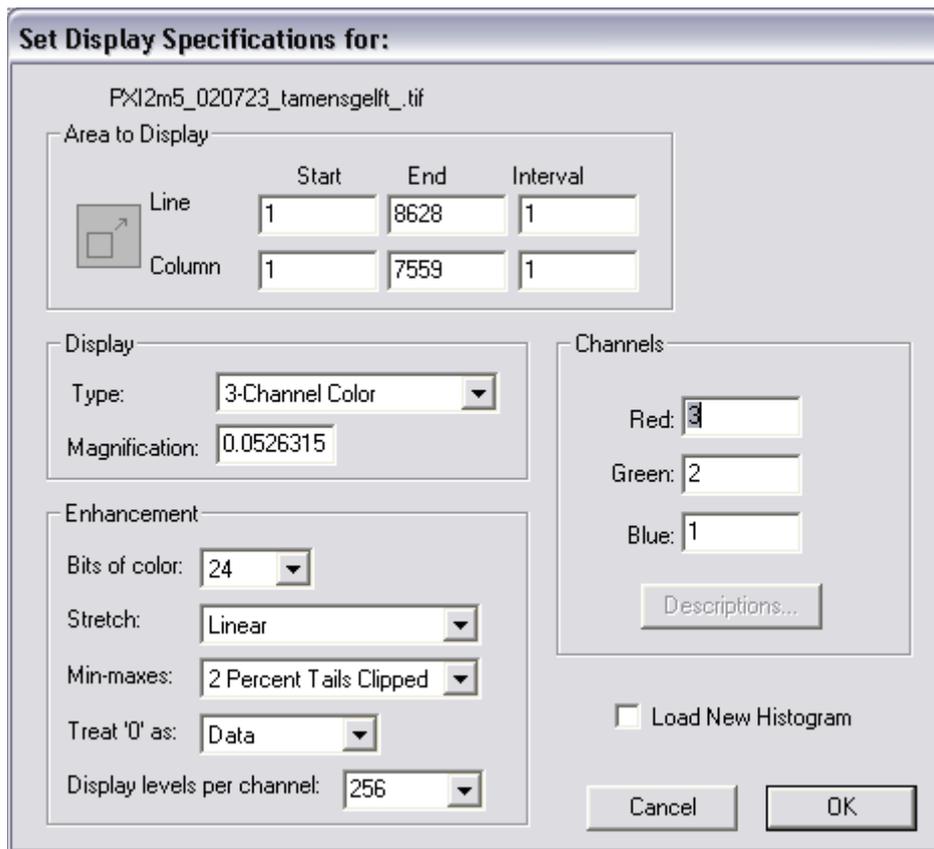
(2)L'image satellite SPOT

Outil MULTISPEC

MultiSpec est un logiciel gratuit, disponible sur le net, de traitement d'images satellites multi spectrales. Il permet de manipuler les images et leurs histogrammes. Il propose quelques traitements essentiels tels que la classification automatique et l'analyse des composantes principales. L'image SPOT XS récupéré à l'IRD CESBIO-SUDMED est une composition colorée que nous avons dû travailler avec MultiSpec avant d'obtenir les 3 bandes spectrales d'origine XS1, XS2, XS3. Cette opération est possible car l'image de la composition colorée a été enregistrée au format .Tif, ce format conservant les couches RVB. SAVGIS exige que l'intégration d'une scène satellite dans une relation fasse correspondre à chaque canal un attribut de la relation. Ainsi les calculs sous l'outil SAVANE seront possibles. Nous allons donc nous servir de MultiSpec pour extraire les 3 bandes spectrales de l'image.

Lancer MultiSpec

Menu FILE > OPEN IMAGE, ouvrir la composition colorée. Une fenêtre comportant les informations détaillées de l'image apparaît, cliquer OK.



Menu PROCESSOR > REFORMAT > CHANGE IMAGE FILE FORMAT > CHANNEL > SUBSET, sélectionner le canal 1

HEADER, sélectionner GeoTiff format, choisissez le repertoire de destination et nommer l'image SPOTXS1_230702.

Renouveler l'opération pour chaque bande spectrale.

Outil SAVAMER

Menu IMAGE > OUVRIR, ouvrir une première bande spectrale et la caler.

Pour le calage de l'image nous renvoyons le lecteur au chapitre B du manuel de SAVAMER (SOURIS, HABERT) téléchargeable gratuitement sur le site de SAVGIS.

Outil SAVATECA

Après le calage intégrer l'image dans la relation correspondante.

NB : Pour réutiliser les mêmes points d'amer pour chaque canal afin de ne pas engendrer de déformations dans les futures calculs :

Sous WINDOWS EXPORER

Aller dans le répertoire contenant vos fichiers images, copiez le fichier des points d'amer de l'image XS1 (XS1.car) et collez le en lui donnant le nom du fichier à recalculer (XS2.car).

Outil SAVAMER

Menu IMAGE > OUVRIER, ouvrez l'image du canal XS2, les points d'amers sont déjà placés. Utilisez les mêmes paramètres de redressement.

Faites de même pour chaque canal.

(NB : Cette opération est possible car les trois canaux proviennent d'une seule et même cliché satellite !)

Nos choix techniques ont été les suivants :

Type de redressement	Mode de redressement	Résolution et projection	Fenêtre de redressement
Polynomiale de 3 ^{ème} degré	Interpolation bilinéaire 2*2	3 m pixel	Toute la fenêtre

(3) Les photographies aériennes

Pour le calage et le mosaïquage des photographies aériennes nous renvoyons le lecteur au chapitre B et C du manuel de SAVAMER (SOURIS, HABERT) téléchargeable gratuitement sur le site de SAVGIS.

Nous nous sommes servis de l'image satellite pour caler les photographies. Nos choix techniques ont été les suivants :

Scanner utilisé	Format de sortie	Résolution
Scanner A4 hp scanjet 2400	TIFF	600ppp

Type de redressement	Mode de redressement	Résolution et projection	Fenêtre de redressement
Polynomiale de 1 ^{er} degré + triangulations	Au plus proche voisin	1 m pixel	Toute la fenêtre

(4) Les plans du parcellaire N4

Pour le calage et le mosaïquage des plans du parcellaire nous avons suivi la même démarche que pour les images précédentes. Nous nous sommes appuyé sur la carte topographique, les photographies aériennes et l'image satellite pour repérer des points d'amer pertinent. Nos choix techniques ont été les suivant :

Scanner utilisé	Format de sortie	Résolution
Scanner A0 de chez WREDE	TIFF	200ppp (insuffisante)

Type de redressement	Mode de redressement	Résolution et projection	Fenêtre de redressement
Polynomiale de 1 ^{er} degré + triangulations	Au plus proche voisin	1 m pixel	Toute la fenêtre

(5) Le Model Numérique de Terrain

Vous trouverez un Model Numérique de Terrain sur le site de l'USGS. Télécharger le MNT au format GRID.

Outil ArcCatalogue (avec extension Spatial Analyst)

Menu explorateur sélectionner le fichier SRTM au format GRID.

Menu ArcToolBox ouvrir l'outil DATA MANAGEMENT TOOLS > PROJECTIONS AND TRANSFORMATIONS > FEATURE > PROJECT

Reprojeter le fichier en coordonnées MERCATOR.

Menu ArcToolBox ouvrir l'outil DATA MANAGEMENT TOOLS > CONVERSION > RASTER > RASTER TO OTHER FORMATS, convertir le GRID en ASCII.

Outil SAVAMER

Menu BASE > OUVRIR, ouvrir la base TAMEGLEFT

Menu MAP, choisir la projection MERCATOR

Menu IMAGE > OUVRIR > ASCII, sélectionner l'image MNT précédemment reprojétée.

Appuyer sur l'outil .

Menu MAP, choisir la projection de la base.

Menu IMAGE > REDRESSEMENT, redresser l'image comme suit :

Type de redressement	de	Mode de redressement	de	Résolution et projection	Fenêtre de redressement
Polynomiale 3 ^{ème} degré	de	Interpolation bilinéaire 2*2		80 m pixel	Toute la fenêtre

Menu IMAGE > INTEGRER, intégrer l'image dans la mosaïque MNT.

(6) Les plans du réseau sous pression N4

Pour le calage et le mosaïquage des plans du réseau nous avons suivi la même démarche que pour les images précédentes. Nous nous sommes appuyé sur la carte topographique, les photographies aériennes et l'image satellite pour repérer des points d'amer pertinent. Nos choix techniques ont été les suivant :

Scanner utilisé	Format de sortie	Résolution
Scanner A0 de chez WREDE	TIFF	200ppp (insuffisante)

Type de redressement	Mode de redressement	Résolution et projection	Fenêtre de redressement
Polynomiale de 1 ^{er} degré + triangulations	Au plus proche voisin	1 m pixel	Toute la fenêtre

2. Digitalisation des objets pertinents sous SAVEDIT

a) Les objets linéaires : routes, canaux, conduites ...

Pour la digitalisation des objets linéaires nous renvoyons le lecteur au chapitre B du manuel de SAVEDIT (SOURIS, HABERT) téléchargeable gratuitement sur le site de SAVGIS. Pour chaque objet nous avons fait les choix méthodologiques suivants :

Objet	Fond utilisé	Renseignement de l'ID
Routes	Carte topographique / Image satellite	Nominal : 4 chiffres (0001 ...) Numéro d'ordre
Canaux anciens	Photographies aériennes / carte topographique / Enquêtes	Multiplés de 1000 pour les séguias Nominal Numéro d'ordre

Conduites	Plan_rezo_modern	N° de conduite
-----------	------------------	----------------

Le travail de digitalisation du réseau d'irrigation gravitaire comporte deux phases :

- Phase 1 : interprétation et formulation d'hypothèses à partir des photographies aériennes et de la carte topographique,
- Phase 2 : enquête de terrain auprès d'un responsable du réseau afin de tracer précisément le réseau.

(1)Phase 1

Outil SAVEDIT

Ouvrir les mosaïques contenant les photographies aériennes et la carte topographique à l'aide de .

Tracer le réseau pertinent jusqu'aux limites de votre interprétation.

Pour la digitalisation les canaux nous renvoyons le lecteur au chapitre B du manuel de SAVEDIT (SOURIS, HABERT) téléchargeable gratuitement sur le site de SAVGIS.

Outil SAVANE

Menu BASE > OUVRIR > TAMESGEFT

Menu PROJECTION, choisir la projection de la base.

Ouvrir les relations Parcelles, réseau gravitaire, bornes, routes avec l'outil , régler la symbologie et afficher les étiquettes des valeurs.

Menu CARTE > MISE EN PAGE, choisir les paramètres

Menu CARTE > IMPRIMER, imprimer la carte.

Pour la manipulation de l'outil SAVANE nous renvoyons le lecteur au manuel de SAVANE (SOURIS, HABERT) téléchargeable gratuitement sur le site de SAVGIS.

(2)Phase 2

Procéder à l'enquête avec le responsable du réseau à l'aide de la carte précédemment tirée. Les limites de parcelles fournissent une base géographique de qualité pour tracer le réseau de canaux.

3.Importation du fichier Forages de l'ABHT

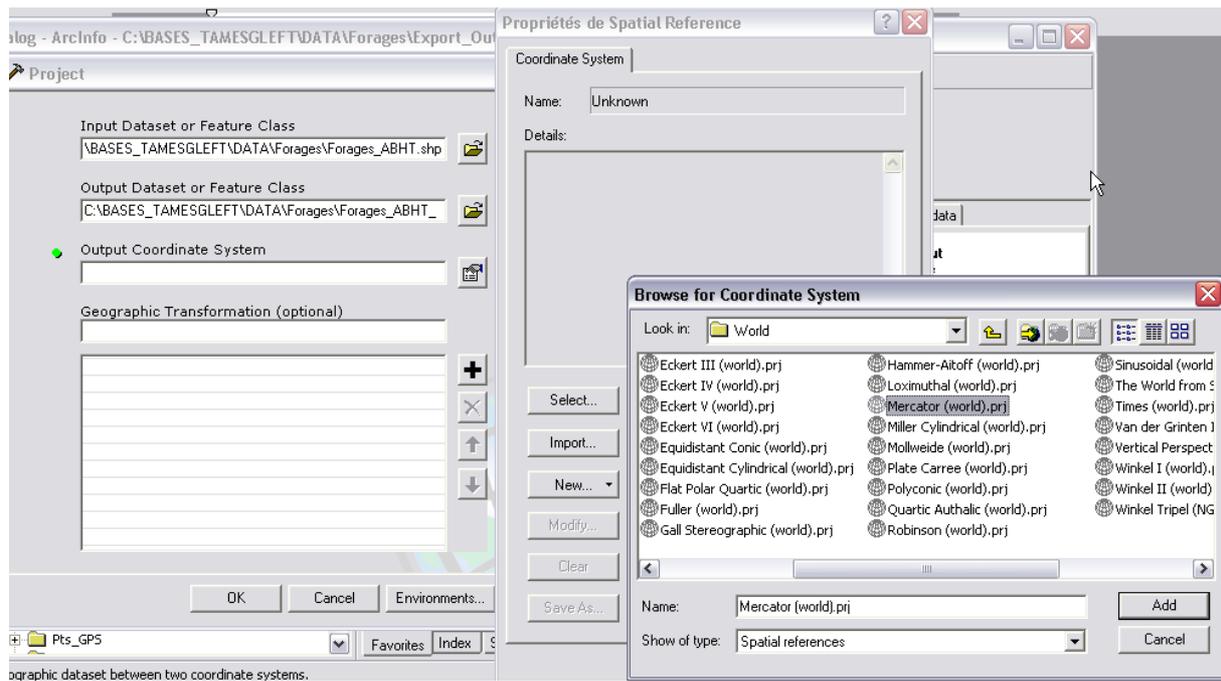
Nous avons récupéré auprès du chef de service Système d'Informations de l'Agence de Bassin Hydraulique du Tensift un fichier SIG ArcView des forages agricoles à l'intérieur du périmètre de l'AUEA Barja.

Le fichier Shape est en coordonnées projetées Lambert Nord Maroc Zone 1. Souvenez vous que nous avons décidé de travailler avec la contrainte du problème de projection (Annexe B.1.(a)).

Outil ArcGIS 9 ArcCatalogue

Chercher avec l'explorateur ArcGIS le fichier Forages de l'ABHT.

Menu ArcToolbox  choisir l'outil DATA MANAGEMENT TOOLS > PROJECTIONS AND TRANSFORMATIONS > FEATURE > PROJECT



Sélectionner le fichier Forages_ABHT

Sélectionner le système de projection en coordonnées projetées, WORLD > MERCATOR.

Le fichier Forages_ABHT en coordonnées Lambert Nord Maroc Z1 sera reprojeter dans un nouveau fichier en coordonnées Mercator.

Dans l'explorateur ArcCatalogue sélectionner le fichier reprojété,

Onglet PREVIEW > TABLE > OPTIONS > ADD FIELD, nommer le nouveau champ ID_SAVANE

Outil EXCEL

OUVRIR le fichier Forages_ABHT reprojété.dbf

Renseigner les clusters du champ ID_SAVANE en ID1, ID2, ID3, etc.

Enregistrer le fichier.

Outil SAVEDIT

Menu BASE > OUVRIR, ouvrir la base Tamesgleft.

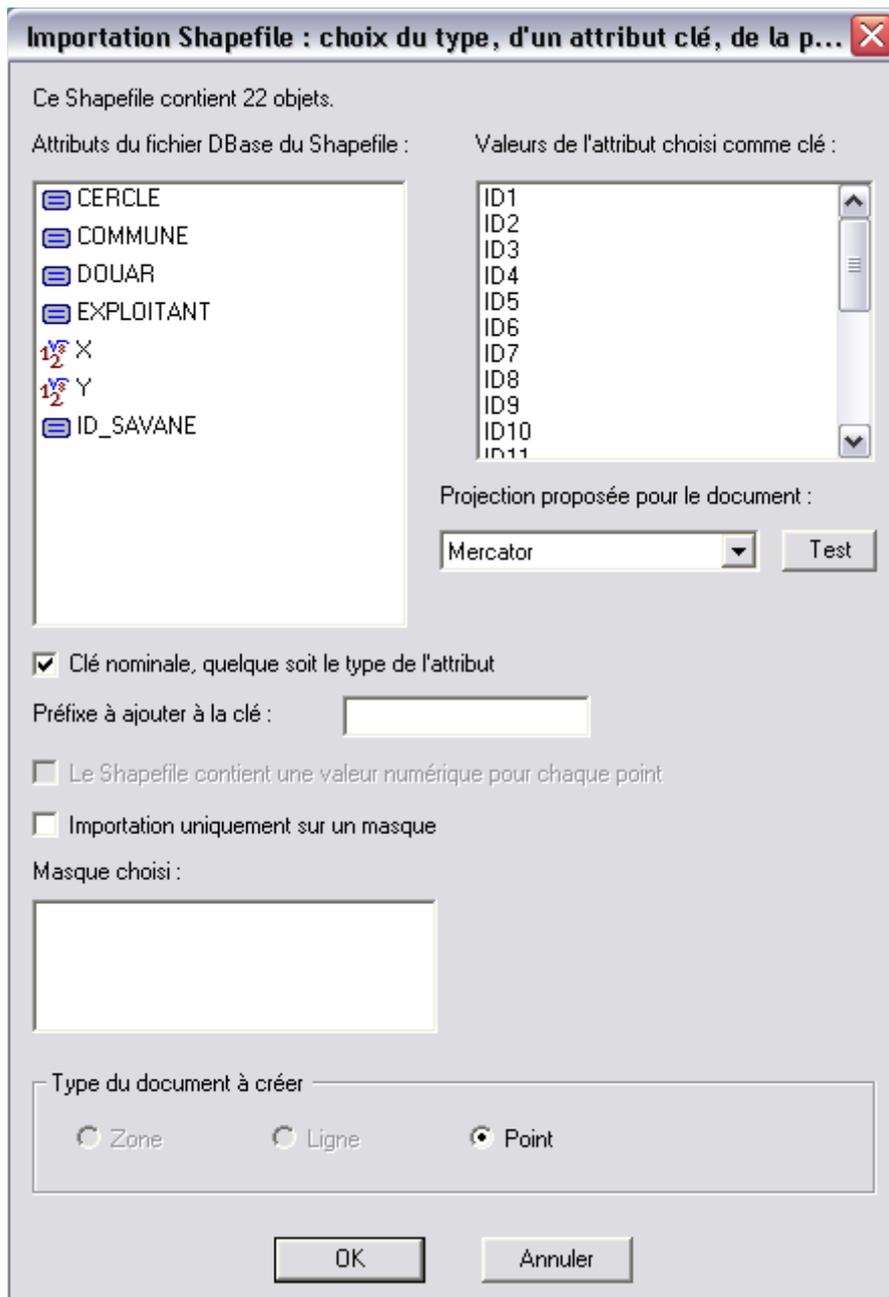
Menu MAP, sélectionner la projection de la base.

Menu FICHER > OUVRIR > SHAPEFILE, ouvrir le fichier Forages_ABHT reprojeté

Sélectionner la clé ID_SAVANE

Projection MERCATOR

Cocher Clé nominale



4.Traitement des fichiers de données attributaires

Outil ACCESS

Le principe a été de construire une base de données ACCESS afin tout d'abord, stocker les données recueillies dans une seule base avant de les intégrer dans SAVGIS. Cette base nous permet ensuite de manipuler les données afin de les mettre en forme correctement. Enfin la base ACCESS peut nous permet de construire des formulaires de consultation et de récolte des données de terrain.

Nous avons donc récupéré deux bases de données ACCESS nommées « LISTING » et « CONSOMMATIONS_N4 » au bureau de techniques d'irrigation de l'ORMAVH.

La base « LISTING » est constituée d'une table contenant les champs suivants :

Ancien numéro de parcelle¹⁰
Nouveau numéro de parcelle
Numéro d'utilisateur
Nom et prénom de l'utilisateur
Adresse de l'utilisateur
Conduite utilisée
Borne utilisée
Superficie de la parcelle

Ces bases concernent uniquement le secteur N4.

La base « CONSOMMATION_N4 » est constituée d'une table contenant les champs suivants :

Date du tour d'eau
Numéro d'utilisateur
Nom et prénom de l'utilisateur
Borne
Numéro de la borne
Consommation réelle

Nous avons décomposé ces tables en plusieurs tables d'entités grâce à des requêtes de création de table.

La table BORNES_N4

Nous avons traité et/ou calculer les champs attributaires suivant :

NUM_BORNE, type texte, clé primaire

NUM_CONDUITE, type texte

¹⁰ Nous avons choisit de travailler avec l'ancien numéro d'utilisateur car c'est celui-ci qui est sur les cartes parcellaire.

NUM_BLOC, type texte (sous Excel = fonction gauche)

La table PARCELLES_N4

Nous avons traité et/ou calculer les champs attributaires suivant :

NUM_PARCELLE, type texte, clé primaire

SUPERFICIE, type réel simple

La table USAGERS_N4

Nous avons traité et/ou calculer les champs attributaires suivant :

NUM_USAGER, type texte, clé primaire

NOM_USAGER, type mémo (les noms sont très long)

ADRESSE_USAGER, type texte

JMAA, type texte

AUEA, type texte

La table CONSOM_N4

Nous avons traité et calculer les champs attributaires suivant :

DATE_TOUR, type date/heure en JJ/MM/AAAA, clé primaire

NUM_USAGER, type texte, clé primaire

BORNE, type texte, clé primaire

CONSOM, type réel simple

Nous avons par la suite créé de nouvelles tables en fonction de notre problématique.

La table AUEA

Nous avons traité et calculer les champs attributaires suivant :

ID_AUEA, type texte, clé primaire

NOM_AUEA, type texte

La table BATI

Nous avons traité et calculer les champs attributaires suivant :

ID_BATI, type texte, clé primaire

NOM_BATI, type texte

La table CANAUX

Nous avons traité et calculer les champs attributaires suivant :

ID_CANAL, type texte, clé primaire (correspondant à la clé de digitalisation sous SAVEDIT)

NOM_CANAL, type texte

NIVEAU, type texte (4 choix : SEGUIA, GUERN, BRANCHE, MESREF)

SEGUIA_ALIM, type texte

GUERN_ALIM, type texte

BRANCHE_ALIM, type texte

DEBIT, type réel simple

DROIT, type réel simple

La table FORAGES

La table CULTURES

Nous avons traité et calculer les champs attributaires suivant :

ID_CULTURE, type texte, clé primaire

NOM_CULTURE, type texte

CLASS_CULTURE_ type texte (4 choix : CEREALICULTURE, ARBORICULTURE, MARAICHAGE, CULTURES FOURAGERES, AUTRE)

IRRIG_DEBUT, type texte

IRRIG_FIN, type texte

BESOINS_ESTIM, type réel simple

ETP, type réel simple

ETR, type réel simple

La table JMAA

Nous avons traité et calculer les champs attributaires suivant :

ID_ JMAA, type texte, clé primaire

NOM_ JMAA, type texte

La table DROITS_ JMAA

Nous avons traité et calculer les champs attributaires suivant :

ID_ JMAA, type texte, clé primaire

DROIT, type réel simple

La table DROITS_ USAGER

Nous avons traité et calculer les champs attributaires suivant :

NUM_ USAGER, type texte, clé primaire

DROIT_ USAGER, type réel simple

La table LACHE_ SEGUIA

Nous avons traité et calculer les champs attributaires suivant :

DATE_ LACHE, type date/heure, clé primaire

TPS, type réel simple

DUREE, type réel simple

La table LACHE_ BORNES

Nous avons traité et calculer les champs attributaires suivant :

DATE_ LACHE, type date/heure, clé primaire

TPS, type réel simple

DUREE, type réel simple

La table REPARTITEURS

Nous avons enfin créé des tables de relations pour construire les liens de plusieurs à plusieurs entre les tables d'entités.

Les tables IRRIGUER

Table	Relation	Table
PARCELLES_N4	IRRIGUER1	CANAU
PARCELLES_N4	IRRIGUER2	BORNES
PARCELLES_N4	IRRIGUER3	FORAGES

La table OCCUPER

Table	Relation	Table
PARCELLES_N4	OCCUPER	CULTURE

La table RELIER

Table	Relation	Table
CANAU	RELIER	REPARTITEURS

La table UTILISER

Table	Relation	Table
USAGER_N4	UTILISER	PARCELLE

Ce modèle nous permet d'exécuter des requêtes qui vont constituer la partie attributaire des relations de la base SAVGIS.

5.Intégration graphique et descriptive

Nous allons maintenant procéder à la dernière étape de la constitution de la base TAMESGEFT à savoir l'intégration graphique et attributaire.

Outil SAVATECA

L'intégration d'objets géographiques dans une base SAVGIS s'effectue en deux étapes (Cf. Figure) :

- **intégration d'un fichier de localisation.** Ce fichier est composé de la clé d'intégration, ainsi que des positions de chacun des objets géographiques. Il est tout d'abord, avec le module SAVEDIT, converti au format d'information géographique de SAVGIS (fichiers « Mygale »). Puis, il est intégré dans la base, avec le module SAVATECA, pour former une nouvelle Relation.
- **intégration des variables descriptives** des objets géographiques précédemment intégrés. La clé d'intégration sert de lien entre les objets et le fichier de valeurs descriptives.

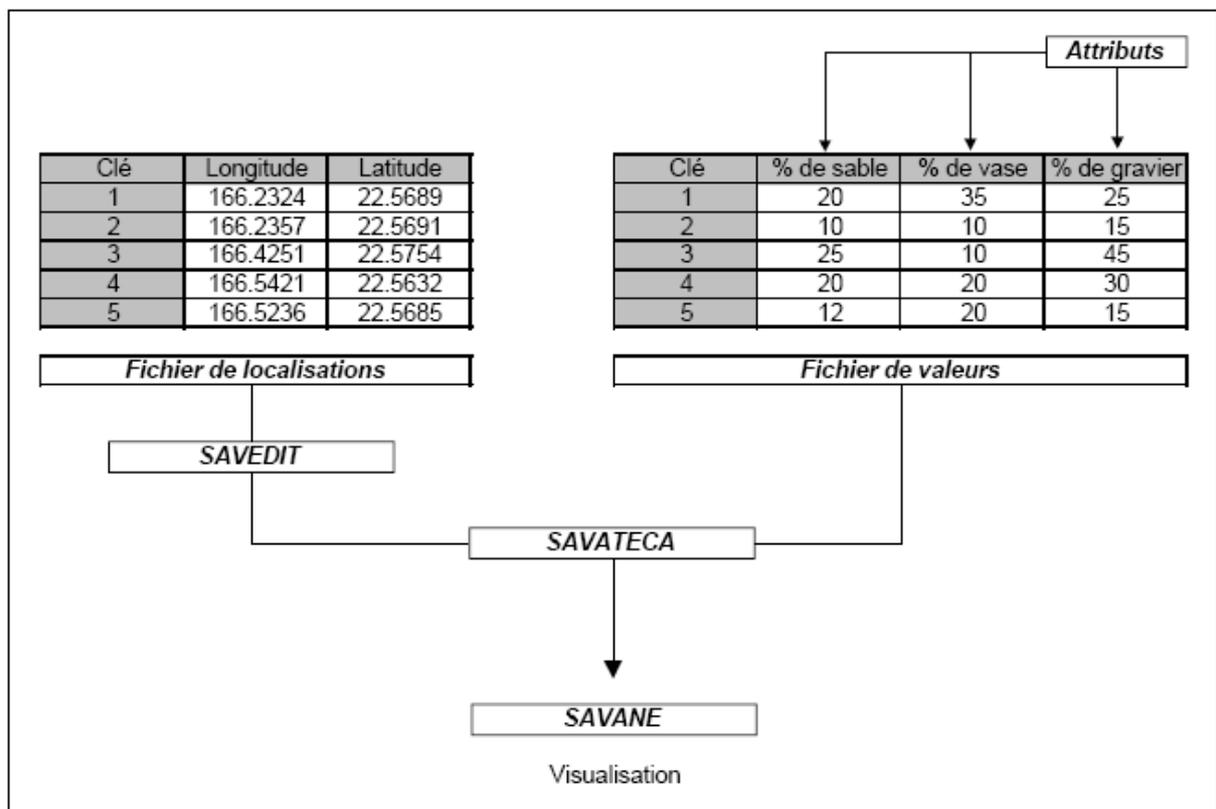


Figure 57 : L'intégration graphique et descriptive sous SAVGIS (PAUTRET, 2001)

Pour intégrer les objets et les attributs dans la base nous renvoyons le lecteur au manuel de SAVATECA (SOURIS, HABERT) téléchargeable gratuitement sur le site de SAVGIS.

Grâce aux données présentes dans la base ACCESS, et à l'aide de requêtes de création de table, nous avons renseigné les relations de la base SAVATECA (Cf. III.B.3).

6.Exploitation de la base de données

a)Construction des blocs hydrauliques du secteur N4

Nous allons produire une carte en plages de couleur qui fasse apparaître les blocs hydrauliques de l'AUEA Barja.

Outil SAVANE

Menu BASE > OUVRIR, ouvrir la base TAMESGLEFT

Menu MAP > MOSAÏQUE, choisir une mosaïque qui porte la projection de la base.

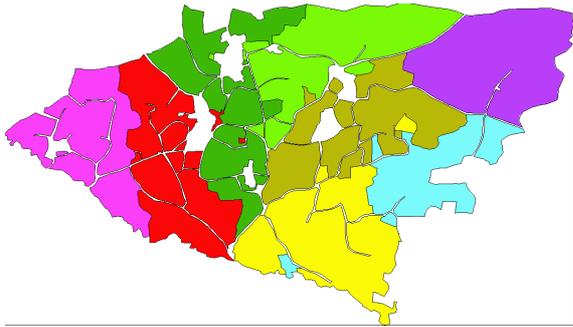
Menu QUEST > REGROUPEMENT THEMATIQUE, choisir la relation PARCELLES et l'attribut BLOC. Nommer la nouvelle relation BLOCS_BARJA.

Ouvrir l'explorateur avec l'outil .

Sélectionner la relation BLOCS_BARJA.

PROPRIETES > TRACER LES ZONES SELON UN ATTRIBUT > COULEURS ET TRAMES, définir votre palette.

OK > TOUT TRACER.



b)Construction de quartiers par borne

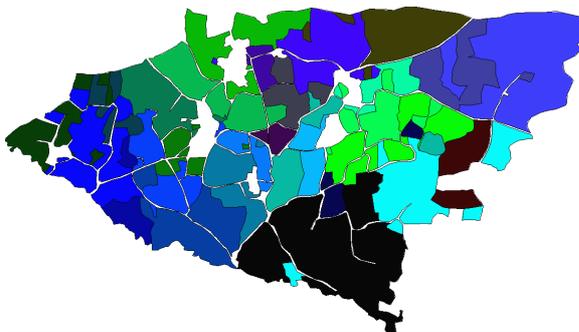
Menu QUEST > REGROUPEMENT THEMATIQUE, choisir la relation PARCELLES et l'attribut BORNE. Nommer la nouvelle relation BLO_BOR_BAR.

Ouvrir l'explorateur avec l'outil .

Sélectionner la relation BLO_BOR_BAR.

PROPRIETES > TRACER L4INTERIUR DE TOUTE LES ZONES.

OK > TOUT TRACER.



c)Construction de quartiers par fraction d'usagers

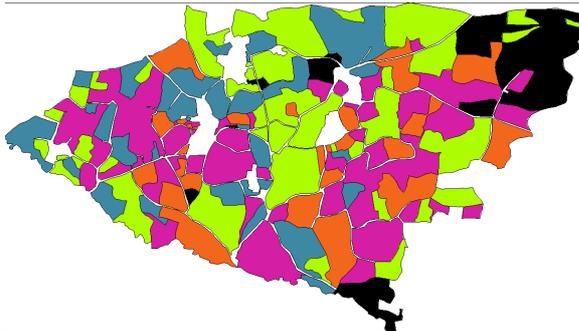
Menu QUEST > REGROUPEMENT THEMATIQUE, choisir la relation PARCELLES et l'attribut JMAA. Nommer la nouvelle relation JMAA.

Ouvrir l'explorateur avec l'outil .

Sélectionner la relation *JMAA*.

PROPRIETES > TRACER LES ZONES SELON UN ATTRIBUT > COULEURS ET TRAMES, définir votre palette.

OK > TOUT TRACER.



C.Schéma de la base MAQUETTE

Détail des relations de la base MAQUETTE

Système SAVANE pour WIN32

Relation PARC_97

Type : Polygones , 2 Attributs 427 Tuples

NUM_PARC Type : Nominal

SUPERFICIE Type : Numérique

Relation DOUARS

Type : Polygones , 2 Attributs 16 Tuples

CLE Type : Nominal

NOM Type : Nominal

Relation CANAUX

Type : Lignes , 3 Attributs 64 Tuples

CLE Type : Nominal

NOM Type : Nominal

TYPE Type : Nominal

Relation CONDUITES

Type : Lignes , 2 Attributs 122 Tuples

CLE Type : Nominal

NUM_CONDUITE Type : Nominal

Relation ROUTES

Type : Lignes , 2 Attributs 10 Tuples

CLE Type : Nominal

NOM Type : Nominal

Relation BORNES

Type : Points , 3 Attributs 295 Tuples

NUM_BORNE Type : Nominal

DEBIT Type : Numérique

BLOC Type : Nominal

Relation FORAGES

Type : Points , 2 Attributs 23 Tuples

NUM_FORAGE Type : Nominal

EXPLOITANT Type : Nominal

Relation USAGERS

Type : Non Localisée , 4 Attributs 196 Tuples

NUM_USAGER Type : Nominal

NOM Type : Nominal

ADRESSE Type : Nominal

LIGNAGE Type : Nominal

Relation PARC_USAGER

Type : Non Localisée , 3 Attributs 480 Tuples

CLE Type : Nominal

NUM_PARC Type : Nominal

NUM_USAGER Type : Nominal

Relation PARC_BORNE

Type : Non Localisée , 3 Attributs 443 Tuples

CLE Type : Nominal

NUM_PARC Type : Nominal

NUM_BORNE Type : Nominal

Relation PARC_CANAL

Type : Non Localisée , 3 Attributs 443 Tuples

CLE Type : Nominal

NUM_PARC Type : Nominal

ID_ARC Type : Nominal

Relation CONSOM_N4

Type : Non Localisée , 5 Attributs 13822 Tuples

CLE Type : Nominal

NUM_USAGER Type : Nominal

NUM_BORNE Type : Nominal

CONSOM_M3 Type : Numérique

DATE_TOUR Type : Nominal

Relation MNT

Type : Mosaïque , 1 Attributs 0 Tuples

ALTI Type : Numérique

Relation SPOT_230702

Type : Mosaïque , 3 Attributs 0 Tuples

XS1 Type : Date or Integer 8 bits

XS2 Type : Date or Integer 8 bits

XS3 Type : Date or Integer 8 bits

Relation PHOTO_MAI90

Type : Mosaïque , 1 Attributs 0 Tuples

NIV_GRIS Type : Date or Integer 8 bits

Relation TOPO_50

Type : Mosaïque , 1 Attributs 0 Tuples

NIV_GRIS Type : Date or Integer 8 bits

D. Annexe CD-ROM

Le CD-ROM comprend :

- Le mémoire en .PDF
- Le carte « Les structures physiques des réseaux gravitaire et sous-pression du périmètre irrigué de l'AUEA Barja » au format A0 en .PDF

- Le MLD HBDS au format A0 en .PDF

Nous nous excusons de ne pas avoir fourni les documents papier compte tenu du prix excessif que leur impression aurait coûtée.