

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'enseignement et de la recherche scientifique  
Université de Blida  
Faculté des Sciences  
Département d'Informatique



**MEMOIRE**

Pour l'obtention du diplôme  
d'Ingénieur d'Etat en Informatique

Option

**INTELLIGENCE ARTIFICIELLE**

**Conception et Réalisation d'un Système  
d'Information Géographique (SIG) pour la  
gestion de la qualité de l'eau Souterraine et sa  
prévention contre les risques de pollution**

**Présenté par :**

**M. FOURAR ABDELHAKIM  
M. BESTANDJI AMIR**

**Membre du jury :**

**Présidente : Mme. BESTITI  
Promoteur : Mme. ABED  
Examinatrice : Mme. BENBLIDIA  
Examinatrice : Mme. AOUSSAT**

**Promotion 2003**

---

## ***DEDICACES***

***« Louange à Dieu, le tout puissant »***

***A mes très chers parents et mes grands parents,  
En reconnaissance de leur soutien indéfectible et ininterrompu,  
Que Dieu les garde !***

***A mon cher frère, ma très chère sœur et son mari  
A mes tantes, mes oncles et leurs familles***

***A mes très chers amis (es)  
A tous mes collègues de la première promotion en informatique***

***Je dédie ce modeste travail avec l'expression de tous mes sentiments  
D'affection et de respect !***

***Abdelhakim***

---

## Dédicaces

A mon grand-père et mes deux grands-mères,

A ma chère mère et mon père,

A ma chère Soumeya, Farid, Yacine, et Lyes,

A mes tantes, mes oncles et mes cousines et cousins

A tout mes amis

Je dédie ce modeste travail, en remerciant ma mère et mon père pour leurs sacrifices et leur dévouement.

Amir

## Résumé

Les eaux souterraines ont une importance stratégique dans notre pays, bien qu'elles soient menacées par les phénomènes de pollution. C'est pourquoi la protection de cette ressource apparaît être un objectif majeur que doivent intégrer les gestionnaires du territoire dans les politiques locales de gestion et de planification. Il est nécessaire également de souligner leur fragilité et leur vulnérabilité d'où le concept de vulnérabilité.

L'aide apportée par les systèmes d'informations géographiques (SIG) pour la gestion du volume important de données liées à la gestion qualitative de cette ressource naturelle est indispensable. En outre, les différentes fonctions d'analyse contribuent à l'évaluation des différentes solutions possibles selon les critères fixés par le décideur.

Dans cette optique, notre travail a consisté à proposer la mise en œuvre d'un SIG dénommé GESQEAU, pour la gestion de la qualité de l'eau souterraine et sa protection contre d'éventuelles risques de pollution.

### Mots clés :

**Système d'Information géographique (SIG), Eau souterraine, Vulnérabilité, Télédétection, Traitement d'image, Cartographie, Topologie, Occupation du sol, Base de données géographique, Analyse Spatiale.**

## Summary

The underground waters have a strategic importance in our country even though they are being threatened by pollution. Thence the protection of this resource is a major goal that should be the priority for the management and planification national politics. It is also important to emphasize their fragility and their vulnerability.

The help represented by the geographical information systems for the management of the important amount of data linked to the qualitatif management of this naturel ressource is henceforth essential. Besides the different fonctions of the analysis help valuation of the differnt possible solution according the criteria fixed by the decision-maker.

For this purpose our work has consisted in suggesting a GIS named GESQEAU for the management of the quality of the underground water and its protection against any risk of pollution.

**Keywords : Geographic Information System (GIS), Enderground Water, Vulnerability, Teledetection, Image Processing, Cartography, Topology, Geographic Data Base, Spatial Analysis.**

## REMERCIEMENTS

On ne saurait remercier assez **Mme. ABED**, notre promotrice, pour nous avoir proposé ce sujet et dirigé nos travaux, pour les conseils qu'elle nous a prodigués et enfin pour ses encouragements.

Pour son aide efficace, ses avis éclairés et ses encouragements, **M. CHALAL** de l'INI (Oued\_smar) mérite d'être mentionné particulièrement, d'une part pour la documentation et les données qu'il nous a fournies et d'autre part, pour les orientations et l'intérêt qu'il a toujours manifesté durant la progression de ce travail.

Nos vifs remerciements vont également à **M. R. SAID**, Chef de service d'étude à l'ANRH, ainsi que **M. SALHI**, pour nous avoir assidûment conseillés et dirigés ainsi que pour leur accueil et l'intérêt qu'il ont porté à notre travail.

Nous présentons nos sincères remerciements à **M. F. BENHAMOUDA** de l'agence spatiale algérienne, pour sa générosité, sa disponibilité et son aide technique et matériel.

Notre plus grande gratitude va également à :

- **Melle MOKHFI** de l'Office National des statistiques (ONS), pour sa gentillesse remarquable, son soutien moral et matériel ainsi que pour son assistance durant ce travail.
- **Melle S. ZEGHACHE** du CERIST, pour son aide efficace, sa constante disponibilité et la patience et la compréhension qu'elle nous a toujours manifestées.
- **Melle L. DERRIDJ** de la SONELGAZ, pour sa générosité, son aide technique et matérielle et sa disponibilité.

Nous présentons nos sincères remerciements également à :

**M. MEZIANE, Mme. F. ADMANE** du CERIST d'une part pour n'avoir ménagé aucun effort pour nous faciliter le bon déroulement de ce travail et d'autre part pour leur constante compréhension et leurs encouragements.

**Mme. GUEMDANI** de l'Institut National de Cartographie et Télédétection (INCT), pour l'aide précieuse qu'elle nous a toujours apportée ainsi que pour ses avis éclairés.

**M. SAHRAOUI** de la direction du service de l'agriculture (DSA), pour son accueil, sa disponibilité, sa générosité et son aide précieuse.

Et pour être sûr de n'oublier personne, que tous ceux, qui de près ou de loin, ont contribué, par leurs conseils, leurs encouragements ou leur amitié, à l'aboutissement de ce modeste travail, trouvent ici l'expression de notre profonde reconnaissance.

*Enfin, remercier nos parents serait se répéter, citer leur affection serait un pléonasme, parfois pour exprimer plus que ce qu'on a envie de dire, on a recours au silence.*

# Table des matières

## INTRODUCTION GENERALE.

1	Contexte général.....	1
2	Problématique.....	2
3	Objectifs.....	3
4	Organisation de la thèse.....	4

## Chapitre I : Système d'information

I.1	Introduction.....	6
I.2	Qu'est ce qu'un Système ?.....	6
I.3	Qu'est ce qu'une information ?.....	6
I.4	Qu'est ce qu'un Système d'information ?.....	6
I.4.1	Les composants matériels d'un système d'information.....	7
I.4.2	Les niveaux de description.....	7
I.4.2.1	Le niveau conceptuel.....	8
I.4.2.2	Le niveau logique.....	8
I.4.2.3	Le niveau de réalisation (niveau physique).....	8
I.4.3	L'information géographique.....	8
I.5	Constitution de la base de données descriptives.....	9
I.5.1	Définition d'une base de données.....	9
I.5.2	Système de gestion de base de données.....	9
I.5.3	Modélisation des données.....	9
I.5.4	Base de données géographiques et Approche méthodologique.....	10

## Chapitre II : Cartographie

II.1	Introduction.....	14
II.2	Qu'est ce qu'une carte ?.....	14
II.3	Les étapes de la construction cartographique.....	15
II.4	Principaux Composants d'une carte.....	16
II.5	Les étapes de lecture d'une carte.....	17
II.6	Types de cartes.....	17
II.6.1	Les cartes topographiques.....	17
II.6.2	Les cartes thématiques.....	18
II.6.3	Les cartes schématiques ou de synthèse.....	18
II.7	Normes dimensionnelles d'une carte.....	18
II.8	Projection cartographique.....	19
II.9	Limites de la cartographie manuelle.....	22
II.10	De la cartographie automatique au système d'information géographique (SIG).	22

**Chapitre III : Système d'information géographique (SIG)**

III.1 Introduction.....	24
III.2 Définition.....	24
III.3 Les principales disciplines impliquées.....	25
III.4 Fonctionnalités des SIG.....	26
III.5 Les questions auxquelles peuvent répondre les SIG.....	28
III.6 Les composantes d'un SIG.....	28
III.7 Les sous-systèmes d'un SIG.....	29
III.7.1 Le sous système d'acquisition des données.....	29
III.7.2 Le sous système de stockage, gestion et interrogation des données (fonctionnalités d'un SGBD).....	29
III.7.3 Le sous système d'analyse spatiale.....	29
III.7.4 Le sous-système graphique.....	29
III.8 Propriétés de l'information géographique.....	30
III.8.1 Descripteur géométriques.....	30
III.8.2 Descripteurs sémantiques.....	30
III.8.3 Descripteurs topologiques.....	30
III.9 Notion de couche.....	31
III.10 Mode de représentation de l'information géographique dans un SIG...	32
III.10.1 Le mode Vecteur (ou mode objet).....	32
III.10.2 Le mode Raster (ou mode image).....	32
III.10.3 Comparaison entre les deux modes.....	33
III.11 L'interrogation dans les SIG.....	34
III.11.1 Requêtes alphanumériques.....	35
III.11.2 Requêtes spatiales.....	35
III.11.2.1 Requêtes d'analyse spatiale.....	35
III.11.2.2 Requêtes interactives.....	35
III.12 L'indexation spatiale.....	35
III.12.1 Classification des types d'index spatiaux.....	36

**Chapitre IV : Qualité de l'eau souterraine et notion de vulnérabilité****IV.1 : QUALITE DE L'EAU SOUTERRAINE**

IV.1.1 Introduction.....	38
IV.1.2 Les eaux souterraines.....	38
IV.1.3 Les normes d'une eau potable.....	39
IV.1.4 Dangers que présente une eau polluée.....	40
IV.1.5 Pollution des eaux souterraines.....	41
IV.1.6 Caractérisation de la pollution.....	41
IV.1.7 Origine des polluants.....	42
IV.1.7.1 En fonction de l'origine de la pollution.....	42
IV.1.7.2 En fonction de la nature des polluants.....	42
IV.1.8 Mécanismes de transport et d'accumulation du polluant en milieu souterrain.....	43
IV.1.9 Pollution d'origine agricole.....	43



## IV.2 CONCEPT DE VULNERABILITE ET METHODE DRASTIC

IV.2.1 Concept de vulnérabilité et notion de risque de pollution des eaux souterraines.....	46
IV.2.2 La méthode DRASTIC.....	47
IV.2.3 Carte de vulnérabilité.....	50

## PARTIE MODELISATION DES DONNEES GEOGRAPHIQUES ET CONCEPTION

### Chapitre V : Conception du système

V.1 Introduction.....	52
V.2 Méthodologie de conception .....	53
V.3 Zone d'étude et sources des données du système GESQEAU.....	54
V.3.1 Zone d'étude.....	54
V.3.2 Source des données.....	55
V.4 Données sémantiques et géométriques .....	56
V.4.1 Le dictionnaire de données .....	56
V.4.2 Modèle conceptuel spatio-temporel (modèle MADS).....	64
V.5 Conception des traitements .....	68
V.5.1 Les modules du système GESQEAU .....	70
V.5.1.1 Module de Création .....	71
V.5.1.2 Le module de mise à jour.....	71
V.5.1.3 Le module d'affichage .....	71
V.5.1.4 Le module d'analyse (géotraitement) .....	71
V.5.1.5 Module d'archivage.....	71
V.5.2 Conception de l'interface.....	72
V.5.3 La solution informatique.....	72

## PARTIE REALISATION

### Chapitre VI : Réalisation et mise en oeuvre

VI.1 Introduction .....	74
VI.2 La base de données géographiques.....	74
VI.2.1 Constitution de la base de données géographique (Géodatabase).....	75
VI.2.1.1 La référence spatiale.....	76
VI.2.1.2 La topologie.....	77
VI.2.2 Intégration de l'image satellitaire.....	77
VI.3 Les modules.....	81
VI.3.1 Module de création.....	83
VI.3.2 Module de mise à jour.....	85
VI.3.3 Module d'analyse spatiale.....	86
VI.3.4 Module d'affichage et de mise en page.....	87
VI.4 L'interface utilisateur.....	87

<b>VI.5 Les étapes de la construction de la carte de vulnérabilité.....</b>	<b>89</b>
<b>VI.6 Carte des risques de pollution.....</b>	<b>91</b>
<b>VI.7 La carte de concentration de nitrates.....</b>	

**Conclusion Générale et perspectives**

**Références Bibliographiques**

**PARTIE ANNEXES**

**Annexes A : Formalisme MADS (Modélisation d'Application à données Spatio-temporelles)**

**Annexes B : Tables ou Système de Cotation DRASTIC**

**Annexes C : GLOSSAIRE**

## LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

### Chapitre I :

Fig. I.1 : Niveaux d'abstraction d'un système d'information.....	8
Fig. I.2 : Approche méthodologique.....	12

### Chapitre II :

Fig. II.1 : Etapes de la démarche cartographique.....	16
Fig. II.2 : Projection cylindrique de Mercator.....	20
Fig. II.3 : Projection pseudo cylindrique de Robinson.....	21
Fig. II.4 : Projection conique de Lambert.....	21

### Chapitre III :

Fig. III.1 : Principales disciplines à la croisée des SIG.....	26
Fig. III.2: Principales fonctions d'un SIG.....	27
Fig. III.3 : Structure d'un SIG.....	29
Fig. III.4 : Niveaux d'information dans un SIG.....	31
Fig. III.5 : Les couches d'informations.....	32
Fig. III.6 : Représentation de l'information géographique en mode vecteur et Raster.	33
Tableau III.1 : Avantages et inconvénients des modes Vecteur et Raster.	34
Tableau III.2 : Comparaison entre les différents index.....	36

### Chapitre IV :

Tableau IV.1 : Les normes d'eau potable établis par l'OMS.....	39
Fig. IV.1 : Approche holistique à l'évaluation de la qualité de l'eau.....	40
Tableau IV.2 : Les maladies hydrique enregistrées à Boufarik durant la période (1990-1997). .....	40
Tableau IV.3 : Les cas de maladies à transmission hydrique dans différentes communes de la Mitidja (1997).....	41
Tableau IV.4 : Classement des polluants par leurs nature.....	42
Fig. IV.2 : Origine, Transport et évolution des polluants, de la surface du sol aux écoulements.....	43
Fig. IV.3 : Entrée de produit agrochimique dans la nappe phréatique.....	44
Fig. IV.4 : Cycle de l'azote en agriculture.....	45
Tableau IV.5 : Le poids des 7 paramètres de la méthode DRASTIC.....	49
Fig. IV.5 : Carte d'évaluation de la vulnérabilité selon la méthode DRASTIC.	51

---

## **Chapitre V :**

<b>Fig. V.2 : Schéma représentant les concepts de OOA.....</b>	<b>55</b>
<b>Fig. V.3 : Source de données du système GESQEAU.....</b>	<b>56</b>
<b>Tableau V.1 : Le dictionnaire des données.....</b>	<b>57</b>
<b>Fig. V.1 : Hiérarchie des types spatiaux dans MADS.....</b>	<b>65</b>
<b>Fig. V.3 : Le modèle conceptuel spatio-temporel (MADS).....</b>	<b>66</b>
<b>Tableau V.2 : Tableau représentatif des relations .....</b>	<b>68</b>
<b>Tableau V.3 : Tableau représentatif des traitements relatif aux objets.....</b>	<b>69</b>
<b>Fig. V.4 : Structure du système GESQEAU.....</b>	<b>70</b>

## **Chapitre VI :**

<b>Fig. VI.1 : Jeux de classe d'entités et classes d'entités de la base de données GESQEAU.....</b>	<b>75</b>
<b>Fig. VI.2 : Définition de la référence spatiale.....</b>	<b>76</b>
<b>Fig. VI.3 Image satellitaire d'occupation du sol de la commune de Birtouta...</b>	<b>78</b>
<b>Fig. VI.4 Organigramme de la méthodologie adoptée pour l'établissement de l'occupation du sol par télédétection.....</b>	<b>79</b>
<b>Fig. VI.5 Image satellitaire représentant la vue totale de la Mitidja centrale..</b>	<b>80</b>
<b>Fig. VI.6 Composant du système GESQEAU.....</b>	<b>82</b>
<b>Fig. VI.7 Saisie des données géométriques.....</b>	<b>83</b>
<b>Fig. VI.8 Définition de la zone de tolérance.....</b>	<b>84</b>
<b>Fig. VI.9 Saisie des données attributaires.....</b>	<b>85</b>
<b>Fig. VI.10 Schéma représentant l'intersection.....</b>	<b>86</b>
<b>Fig. VI.11 Schéma représentant la fusion.....</b>	<b>86</b>
<b>Fig. VI.12 Raster constitué par interpolation de mesures ponctuelles.....</b>	<b>87</b>
<b>Fig. VI.13 Capture d'écran de l'interface GESQEAU.....</b>	<b>88</b>
<b>Fig. VI.14 Les étapes de la construction de la carte de vulnérabilité .....</b>	<b>89</b>
<b>Fig. VI.15 Carte de vulnérabilité par la méthode DRASTIC de la Mitidja centrale</b>	<b>90</b>
<b>Fig. VI.16 Carte des risques de pollution.....</b>	<b>91</b>
<b>Fig. VI.17 Carte de Concentration des nitrates 1999 de la Mitidja centrale...</b>	<b>92</b>

## Introduction générale

### 1. Contexte général :

FRANKLIN Benjamin a dit un jour : « Nul ne connaît la valeur de l'eau jusqu'à ce que le puits tarisse » Cette phrase éloquente résume parfaitement le problème humanitaire qui nous guette.

En Algérie les ressources en eau sont faibles, irrégulières, et localisées dans la bande côtière. Ce qui la classe parmi les pays les plus pauvres en matière de potentialités hydriques, soit en dessous du seuil théorique fixé par la Banque Mondiale à 1000 m<sup>3</sup> par habitant et par an.

L'accroissement démographique n'est pas là pour arranger les choses, en effet en 2020 la population Algérienne comprendra près de 46 millions d'habitants, soit une consommation en eau potable, agricole et industrielle de l'ordre de 5 milliards de m<sup>3</sup>/an, alors que la mobilisation actuelle est à peine de 2 milliards de m<sup>3</sup>. Cette perspective signifie qu'il faudra mobiliser dans les 20 ans à venir 3 milliards de m<sup>3</sup>, ce qui représente un réel défi à relever mais surtout une stratégie et une politique de gestion à définir si on veut éviter des crises graves et certaines.

Globalement, la capacité de mobilisation installée est répartie entre les barrages (21,4 %), les forages (72,6%) et les sources (6,0%).

Contrairement à certaines idées reçues, en Algérie, les barrages ne sont pas les principaux pourvoyeurs d'eau, les eaux souterraines constituent dans bien des cas, la ressource principale d'approvisionnement en eau potable. Ces ressources sont évaluées à 1.8 milliards de m<sup>3</sup> dans le Nord de l'Algérie et qui sont aujourd'hui exploitées à plus de 90%; beaucoup de ces nappes sont même dans un état de surexploitation critique [Avant-projet de rapport, 2000].

L'Agence Nationale de Recherche en Hydraulique (A.N.R.H) collecte depuis 1988 des informations sur les nappes de la Mitidja; ces examens portent essentiellement sur la surveillance du niveau de la nappe ainsi que de la quantité de nitrates présente dans l'eau.

Les phénomènes de pollution, dont l'origine est l'intensification des activités humaines, commencent à atteindre des proportions inquiétantes et constituent aujourd'hui un risque permanent et réel de dégradation de cette ressource déjà en quantité limitée.

Les eaux souterraines ont une importance stratégique. C'est pourquoi la protection de cette ressource apparaît être un objectif majeur que doivent intégrer les gestionnaires du territoire dans les politiques locales de gestion et de

planification. Il est nécessaire également de souligner leur fragilité et leur vulnérabilité, c'est pourquoi on préfère souvent le rattacher au concept de vulnérabilité, qui exprime la sensibilité de la nappe aux différents phénomènes de pollution exposés à la surface du sol.

La carte de vulnérabilité (Modèle de propagation de polluants) est un bon outil de connaissance, de protection et de suivi de l'évolution des ressources naturelles, réalisée dans le but d'aider à l'aménagement et à la planification du territoire.

Ces cartes de vulnérabilité, superposées aux cartes d'inventaires des sources de pollution (dans notre cas il s'agit des zones agricoles), permettent de déduire des cartes de pollution. Cette carte donne une idée générale sur les différentes zones vulnérables et leur sensibilité au risque de pollution en vue d'une éventuelle prise de décision (aménagement par exemple).

## **2. Problématique :**

En visitant les locaux et les établissements de quelques sociétés et agences nationales pour la gestion de l'eau, on a remarqué que les outils et les méthodes utilisés pour le traitement et la gestion de ces informations étaient assez archaïques et ne permettaient pas une pleine exploitation des données recueillies; en effet les décideurs utilisent généralement des tableaux de nombres pour la synthèse de l'information, cette manière de procéder est lourde, tant pour la lecture que pour l'interprétation, notamment lorsque ces tableaux dépassent une certaine taille et particulièrement s'ils présentent des informations à caractère géographique. Il est à souligner cependant que certaines sociétés telles que l'A.N.R.H de Blida commencent à appliquer des méthodes performantes et actualisées tel que les systèmes d'information géographique, ce qui est encourageant.

De plus le support papier sous forme de cartes encore très utilisé, présente un certain nombre d'inconvénients majeurs :

- la fiabilité d'une carte est compromise par sa rigidité à inclure les changements jusqu'à sa prochaine mise à jour.
- La quantité d'information contenue dans une carte est limitée pour des raisons de lisibilité.
- L'analyse est difficile vue que la carte est un document qualitatif ; aussi toute analyse mettant en jeu plusieurs ensembles de données spatiales est difficile surtout si les échelles sont différentes.

C'est pour ces raisons qu'on a voulu apporter un plus, en intégrant un système d'aide à la décision qui est en pleine expansion dans le monde, et qui a

fait ses preuves outre mer : le Système d'Information Géographique (SIG). Il nous a semblé en outre, que c'était une perspective assez intéressante, qui va renforcer nos connaissances et notre apprentissage.

Utilisé dans les années soixante, dans une optique d'archivage, le SIG s'est peu à peu développé et n'a cessé d'agrandir l'éventail de ses interventions. Aujourd'hui on le retrouve dans presque tous les domaines d'application, entre autres, la cartographie, l'aménagement du territoire, la planification rurale et urbaine, la télédétection et l'analyse de l'image, l'environnement (pollution, catastrophe naturelle...), la géologie, le commerce...

La structuration de ces données dans des Systèmes d'Information Géographique (SIG) permet de les combiner avec des données d'autres natures (données sur l'environnement, d'occupation des sols, économiques...) et de produire automatiquement des cartes thématiques très utiles à la prise de décision par les responsables de la gestion de l'eau.

Parmi les avantages qu'un SIG peut apporter, on peut citer entre autres :

- La possibilité de mettre à jour une base de données en temps réel, d'intégrer de nouvelles sources de nature différente, de les combiner et les analyser pour présenter l'information de façon claire, directe, utilisable pour la prise de décision.
  - Le fait que ces bases de données ne donnent pas des informations brutes de la carte traditionnelle, mais sont des outils intelligents et interactifs qui permettent de comprendre les phénomènes donc prévoir les risques.
  - Le fait que les données de pollution se prêtent particulièrement à l'analyse par les SIG, en raison de la densité des sources.

### **3. Objectifs :**

Dans le cadre de notre projet dénommé GESQEAU (Gestion de la qualité de l'eau), nous avons pensé à mettre en place un système d'information géographique pour la gestion de la qualité de l'eau souterraine. Nous avons donc choisi de travailler sur les données de la Mitidja centrale, celles-ci étant disponibles. Les objectifs assignés à notre système sont les suivants :

- La mise en place d'une base de données géographiques.
- Le traitement et la synthèse de ces données géographiques ainsi que la définition de jeux de requêtes que doit supporter le SIG (analyse spatiale, analyse de proximités...).
- La conception d'une interface conviviale.

Notre application tendra à répondre à certaines questions :

- Quelles sont les régions les plus polluées ?
- Où sont les sources de pollution et pourquoi sont-elles aussi présentes ?
- est-ce qu'il y a un rapport entre cette pollution et le type de sol ? et le type d'agriculture ?
- Quels sont les causes et les effets d'une telle pollution ?
- Où se trouvent les régions où la nappe présente une vulnérabilité assez élevée ?

Sur la base des informations que nous allons collecter et notre application les décideurs pourront répondre à une question très importante relative à une meilleure politique de gestion, d'aménagement et de planification dans une région donnée.

#### **4. Organisation de la thèse :**

Après la présentation du contexte général, de la problématique et des objectifs que nous nous sommes fixés ; le présent rapport est organisé en deux grandes parties :

**La première partie** est structurée en quatre chapitres, qui comprend la partie bibliographique :

Au premier chapitre, nous présentons une étude bibliographique sur les systèmes d'information.

Dans le deuxième chapitre, nous donnons des notions sur la cartographie.

Le chapitre trois, quant à lui, présente des aspects théoriques des systèmes d'information géographique.

Le chapitre quatre établit les caractéristiques générales de la qualité de l'eau et présente une analyse sémantique des divers types et origines de pollution des eaux souterraines (en insistant plus particulièrement sur la pollution agricole), ainsi qu'une étude qualitative de cette pollution en introduisant la notion de vulnérabilité.

**La deuxième partie**, quant à elle, porte sur deux chapitres :

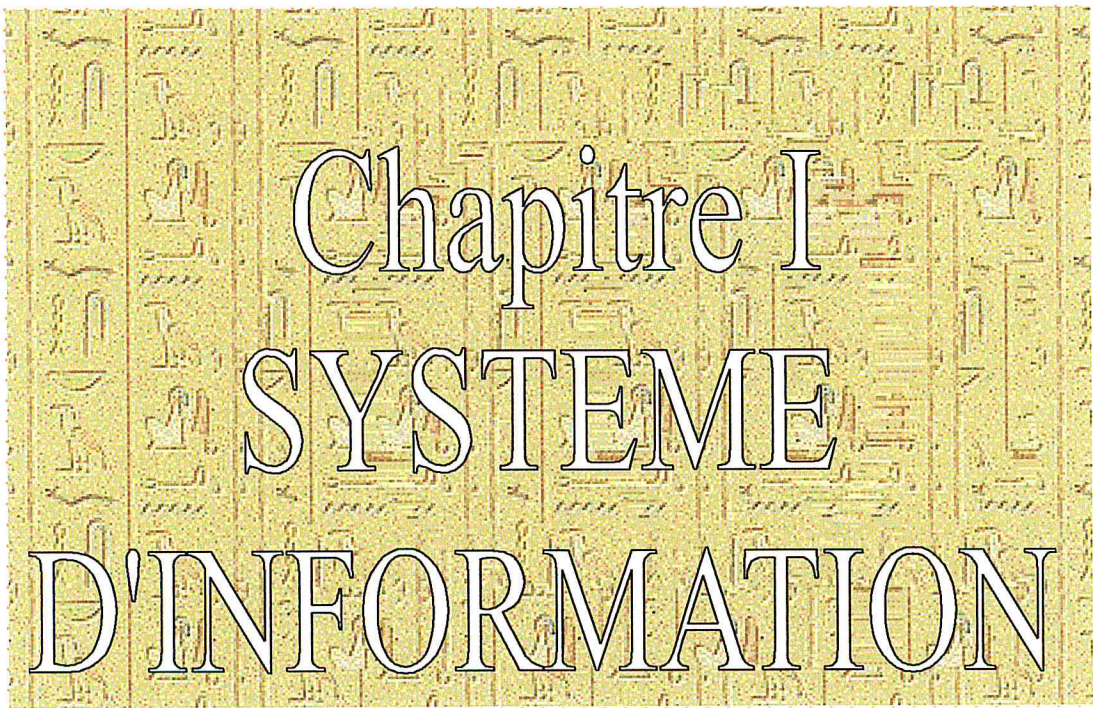
Le chapitre 5 présente la conception de notre système, la réalisation faisant l'objet du dernier chapitre.



Enfin, ce rapport sera clôturé par une conclusion générale résumant le travail mené, l'apport de l'approche proposée ainsi que les perspectives susceptible d'être développées.

*« Plus s'étend et s'approfondie le  
champ de ma connaissance, plus  
s'aiguise la conscience de l'étendue  
de mon ignorance »*

*Michel Beaud*



Chapitre I  
SYSTEME  
D'INFORMATION

## **I.1 Introduction :**

Au cours de son évolution et pour ses besoins de développement, l'homme a vu les informations disponibles croître d'une façon fulgurante. Ces informations concernaient particulièrement les événements liés au territoire, leur nature, la date à laquelle ils se sont déroulés, mais la caractéristique la plus importante de ces événements restera le lieu permettant de les situer.

La diversité de l'information a conduit à l'utilisation de méthodes de description qui se sont adaptées aux évolutions technologiques.

La vocation principale des systèmes d'information est l'organisation et la recherche de l'information. Ces systèmes rassemblent et gèrent les informations de type quelconque et permettent ainsi d'avoir accès à ces dernières, dans la finalité d'une consultation poussée (traitement, analyse, références...), participant ainsi à l'amélioration de la connaissance pour une éventuelle prise de décision.

## **I.2 Qu'est ce qu'un Système :**

Un système est une « combinaison d'éléments réunis de manière à former un ensemble » [GILLIOT, 2000].

Une autre définition est donnée par ANONYME (1998) :

Un système est un « ensemble d'objets reliés et interagissant dans un but commun ».

## **I.3 Qu'est ce qu'une information :**

Une information est un « élément de connaissance susceptible d'être codé pour être conservé, traité ou communiquée » [GILLIOT, 2000].

**I.4 Qu'est ce qu'un Système d'information :** un système d'information est un système de communication permettant de communiquer et de traiter l'information (norme internationale ISO 5127-1-1983).

Pour GOLAY (1991), « Un système d'information est un ensemble structuré de service, de méthodes et d'outils, susceptible de répondre à des questions relatives à une organisation ou à un domaine particulier » [In DONNAY, PANTAZIS, 1996]

Pour GUALTIROTTI (1991), « Un système d'information est un ensemble de moyens (humains, matériels) et de méthodes se rapportant au traitement des différentes formes d'information rencontrées dans les organisations »  
[In DONNAY, PANTAZIS, 1996]

On remarque que la signification du terme « système d'information » prend de multiples significations, selon la fonction et le travail de celui qui l'utilise.

### **I.4.1 Les composants matériels d'un système d'information :** [DONNAY, PANTAZIS, 1996]

Généralement, un système d'information est constitué au plan matériel de trois principaux modules :

#### **a. Le module de recueil des données :**

Ce module comporte des procédures plus au moins automatisées de collecte des données. Il suppose la définition des besoins de l'organisation et l'identification des sources d'informations disponibles.

#### **b. Le module de transfert, stockage et manipulation :**

Il concerne la codification des données, leur accumulation et leur traitement.

#### **c. le module de communication :**

Il est relatif à l'organisation des échanges entre les différents éléments du système d'information.

### **I.4.2 Les niveaux de description :** [MARMONIER, 2002]

Afin de répondre le mieux possible aux exigences des futurs utilisateurs, une réflexion s'impose.

C'est pour cette raison qu'on retrouve trois niveaux d'abstraction, qui correspondent en réalité à trois niveaux de préoccupation.

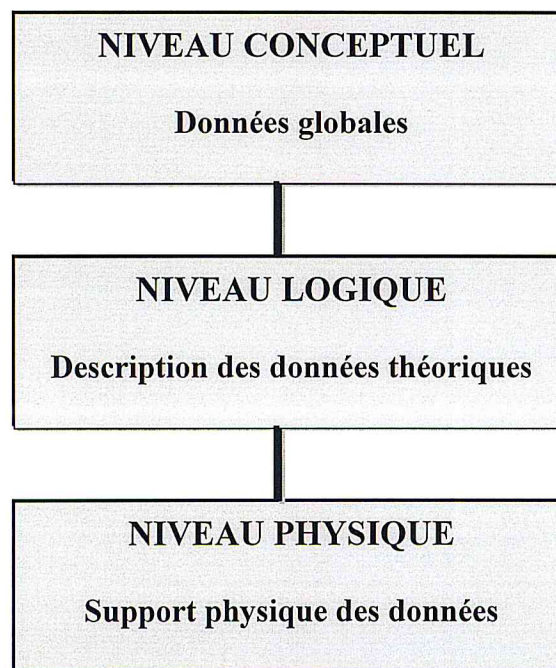
Ces niveaux de préoccupation sont traduits dans les faits par les principales étapes de la réalisation du système d'information, qu'on peut résumer comme suit :

**I.4.2.1 Le niveau conceptuel** : Il permet de préciser les acteurs impliqués et éventuellement les fonctions que le système aura à assurer.

**I.4.2.2 Le niveau logique** : Il peut déterminer comment les fonctionnalités vont être réalisées afin de répondre le mieux possible aux objectifs fixés et cela indépendamment des moyens techniques utilisés pour sa réalisation (quelle est l'information nécessaire et quel traitement lui associer ?).

**I.4.2.3 Le niveau de réalisation (niveau physique)** : Il précise les outils utilisés et estime le développement à faire.

La figure I.1 résume ces trois niveaux de description.



**Fig. I.1** : Niveaux d'abstraction d'un système d'information  
[MARMONIER, 2002]

### **I.4.3 L'information géographique :**

Selon QUODVERTE (1994), L'information géographique est la représentation d'un objet ou d'un phénomène réel, localisé dans l'espace à un moment donné.

### **I.5 Constitution de la base de données descriptives :**

#### **I.5.1 Définition d'une base de données :**

Une base de données est un ensemble structuré de données, généralement volumineux et partagé entre plusieurs utilisateurs ou programmes [CHRISMENT, ZURFLUH, 1996].

Il est possible de donner une autre définition, assez complète d'après TARDIEU et al (1979) [in ZAOUÏ, 1996] :

La base de données est une collection de représentation de la réalité sous forme de données inter reliées aussi cohérentes que possible, mémorisées avec une redondance calculée et structurée de manière à faciliter leur exploitation. Ceci permettra de satisfaire une grande variété de demandes de renseignements exprimées par de nombreux utilisateurs ayant des exigences de réponses compatibles avec leur condition de travail.

#### **I.5.2 Système de gestion de base de données :**

Les données sont généralement gérées par des systèmes de gestion de bases de données (SGBD) qui permettent de stocker, d'effectuer des recherches, d'extraire et de représenter des informations pour un éventuel traitement.

Les SGBD représentent un ensemble de logiciels intégrant des langages de manipulation, qui permettent en outre de mettre à jour les données selon un modèle particulier : On parle alors de SGBD hiérarchique, de SGBD relationnel (modèle entité association qui est actuellement le plus utilisé) et de SGBD orienté objets.

#### **I.5.3 Modélisation des données :**

Selon MARMONIER (2002), la modélisation d'un système est la démarche qui consiste à recenser les éléments utiles, à étudier les informations qui sont intéressantes, à les classer par famille ayant des propriétés communes afin de les organiser sous une forme informatique qui répondrait aux besoins des utilisateurs.

Cela sera concrétisé par l'élaboration de plusieurs sous systèmes, ayant chacun des propriétés techniques et physiques propres.

L'opération de modélisation des données se traduit généralement par réalisation de modèles de données. Il existe trois niveaux de modélisation dans le processus de création d'une base de données :

- Le niveau conceptuel précédemment cité donne lieu à un modèle conceptuel de données (MCD).

Le modèle conceptuel de données permet de montrer les entités du système, les relations qui les caractérisent ainsi que leurs cardinalités.

Afin d'avoir une représentation fidèle de la réalité, le modèle conceptuel de données sera complété par le dictionnaire de données.

- Le niveau organisationnel donne lieu à un modèle logique de données (MLD). Ce modèle permet d'organiser les objets en classes ayant des propriétés communes et de représenter les relations qui les caractérisent.

Le rôle principal du modèle logique de données est de définir l'organisation logique des données, afin de les traduire dans un formalisme proche du langage machine.

- Le niveau physique donne lieu à un modèle physique de données (MPD). Ce modèle a pour objectif l'implantation physique des données et leur description telles qu'elles sont stockées dans la machine, dans un langage spécifique au système.

### **I.5.4 Approche méthodologie et Base de données géographiques :**

Les bases de données géographiques occupent une place singulière parmi la diversité des bases de données. La nature même des informations et la spécificité de leur traitement nécessitent une modélisation et une structuration toute particulière et cela a conduit à utiliser des techniques différentes de celles des bases de données classiques [LAURINI, 1996].

L'importance croissante de ce domaine a même donné lieu à une nouvelle science appelée géomatique, qui regroupe l'ensemble des techniques de traitement informatique des données géographiques.

La prise en compte et la manipulation de ce flux important d'informations géographiques nécessitent un raisonnement méthodologique qui permette de



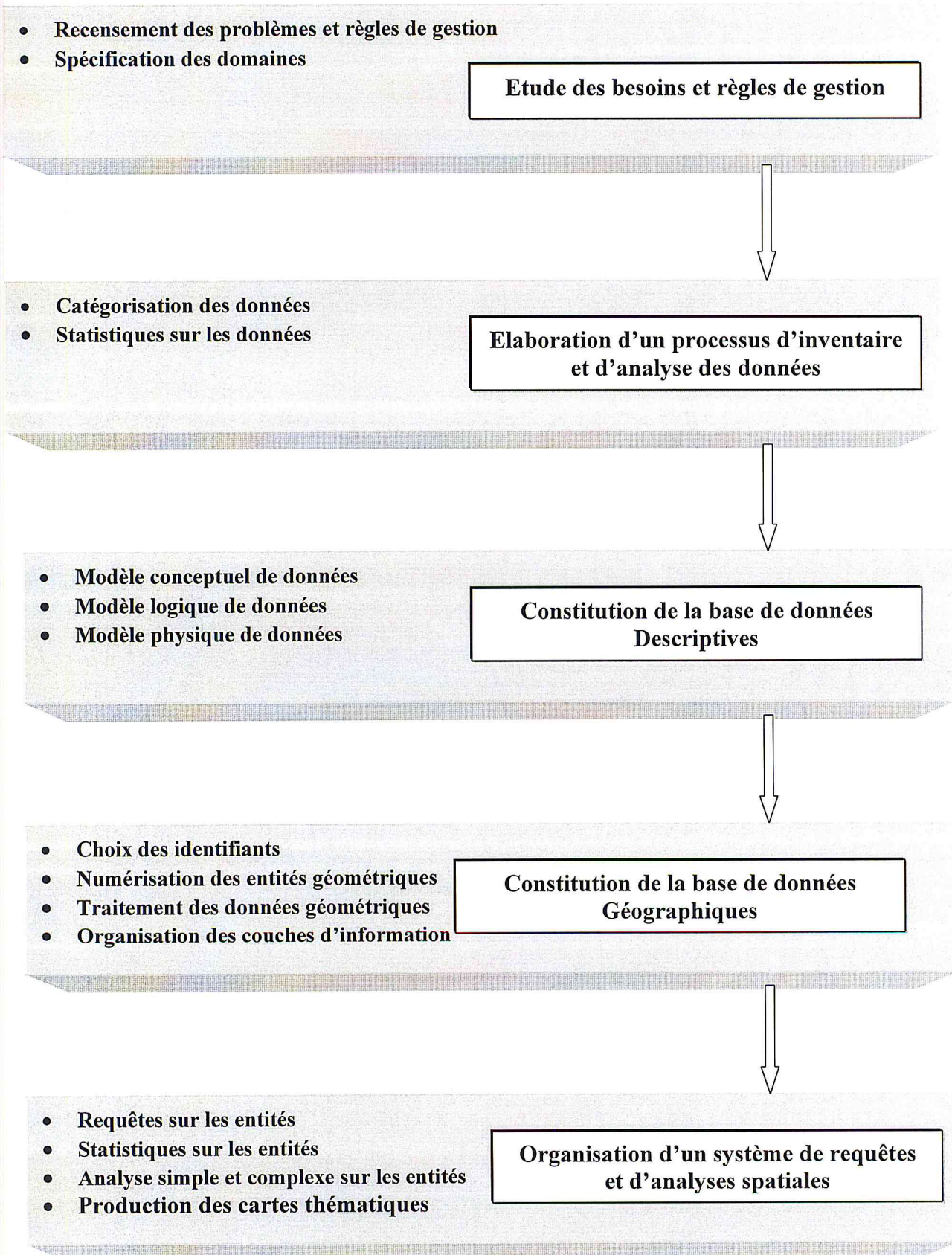
## I SYSTEME D'INFORMATION

---

structurer l'information, de la stocker et de la gérer par la réalisation d'une base de données, sur laquelle des opérations d'analyse spatiale pourront être effectuées.

La démarche générale est structurée par le schéma suivant (**Fig. I.2**) :

# I SYSTEME D'INFORMATION



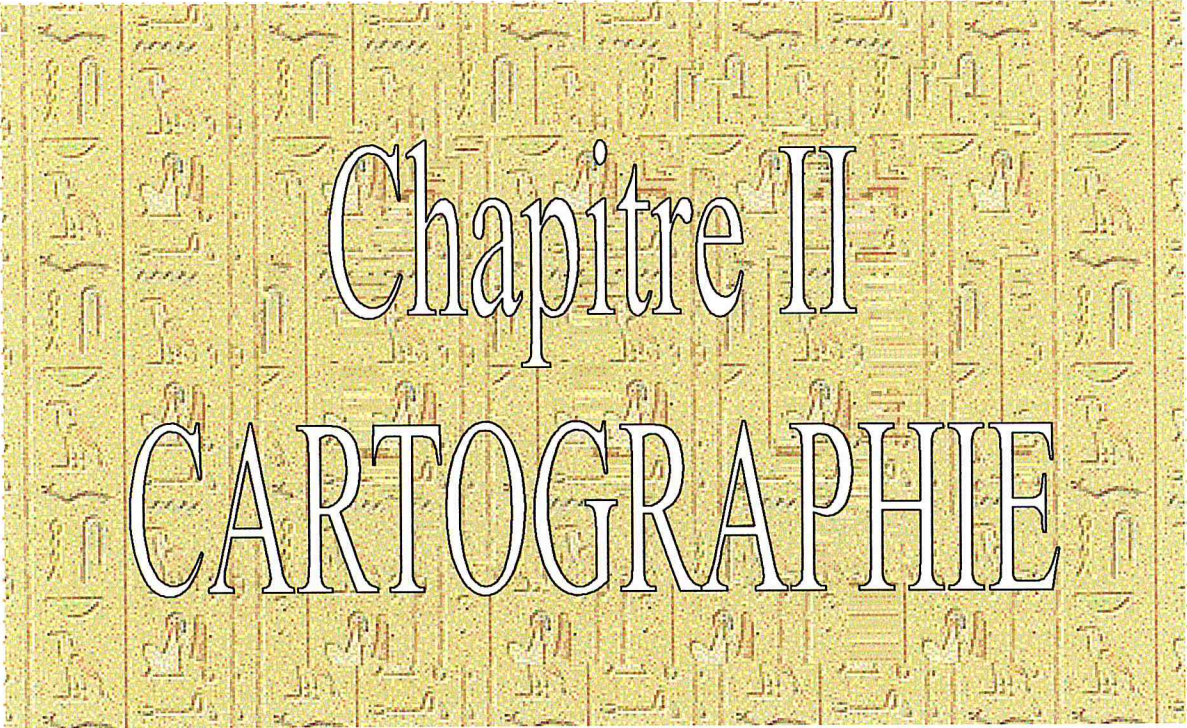
**Fig. I.2 :** Approche méthodologique [ZAOUÏ, 1996]

## I SYSTEME D'INFORMATION

---

Avant l'apparition des systèmes d'information géographiques, les opérations nécessitant l'utilisation de superposition de données et des fonctions géométriques étaient interprétées par des supports papier : cartes ou plan. C'est ce qui nous a amené à présenter dans le chapitre suivant des informations relatives à la cartographie.





Chapitre II  
CARTOGRAPHIE

### II.1 Introduction :

L'ONU en 1949 donnait de la cartographie la définition suivante : « c'est la science qui a pour objet l'établissement et l'emploi des cartes ».

Depuis 1966 on se réfère à la définition que l'ACI (Association Cartographique Internationale) donne de la cartographie :

C'est « l'ensemble des études et des opérations scientifiques, artistiques et techniques intervenant à partir des résultats d'observation directs ou de l'exploitation d'une documentation, en vue de l'élaboration de cartes et autres modes d'expression, ainsi que de leur utilisation ».

TAYLOR a donné quant à lui lors d'une conférence de l'ACI en 1991 [in SIOUNI, DAOUD, 1997] une définition aussi intéressante de la cartographie; celle-ci correspond à « L'organisation, la présentation, la communication et l'utilisation des informations géoréférencées sous forme tactile, numérique ou graphique. Elle peut comprendre toutes les phases de la création de la carte et les produits connexes d'information spatiale, depuis la représentation des données jusqu'à l'utilisation finale ».

### II.2 Qu'est ce qu'une carte ?

L'association Cartographique internationale, a défini la carte en 1991 comme suit :

« Représentation conventionnelle, généralement plane, en positions relatives, de phénomènes concrets ou abstraits, localisables dans l'espace, destinée à être utilisée lorsque les relations spatiales ont une pertinence essentielle »

Selon une autre définition : « la carte est une représentation classique à une échelle donnée, de l'information géographique » [MOUSSA, 1993 in SIOUNI, DAOUD, 1997]

C'est ainsi que la carte est une généralisation de la réalité, elle permet de localiser et d'identifier les objets, voir de quantifier des phénomènes.

## II CARTOGRAPHIE

---

Elle permet aussi au lecteur de superposer graphiquement les informations, pour une meilleure assimilation des phénomènes de proximité et de densité, de les analyser afin d'en déduire des informations relationnelles. [WEGER, 1999]

### **II.3 Les étapes de la construction cartographique :**

Selon ce dernier auteur, la carte est plus qu'une image, car elle contient plusieurs niveaux d'information. Elle permet en outre de hiérarchiser l'information et de la compléter.

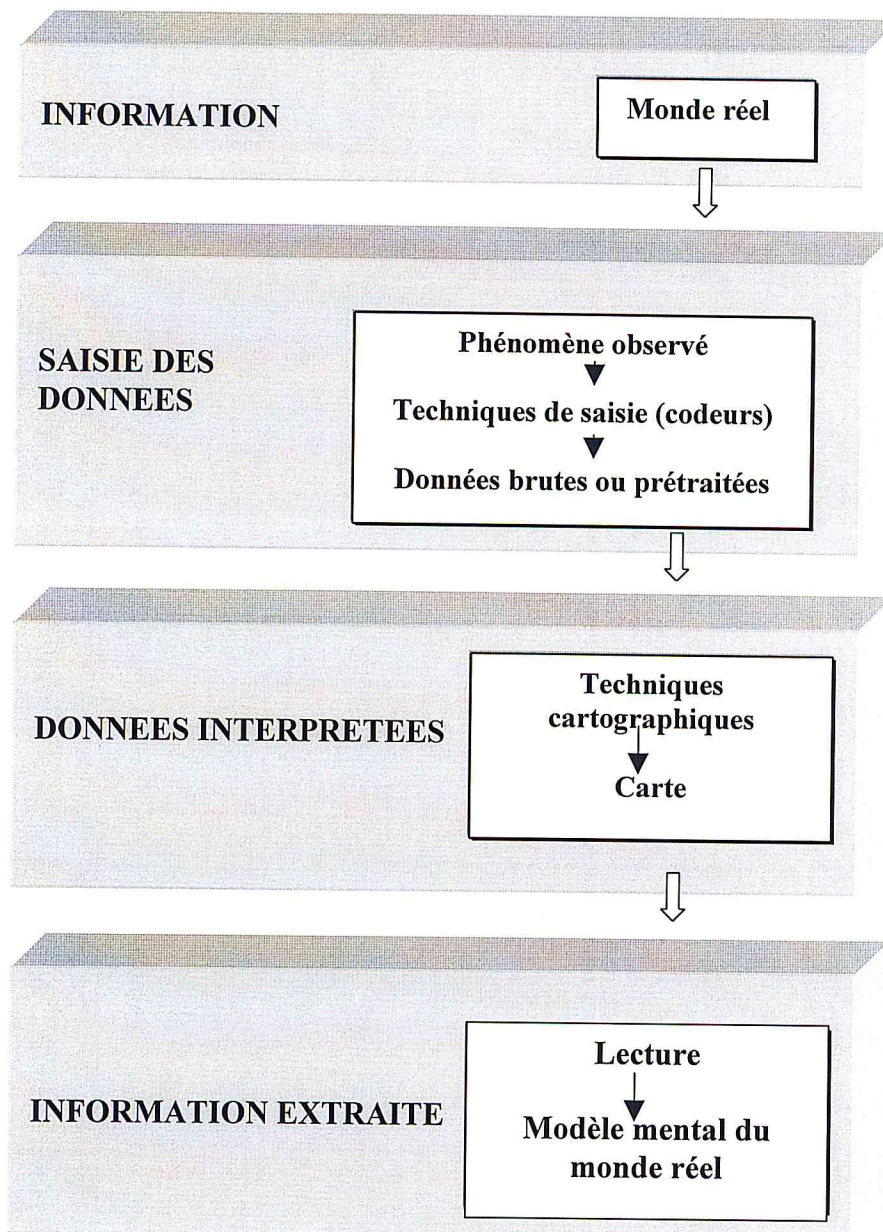
Le cartographe est l'intermédiaire entre le monde réel et le lecteur. Il mettra en œuvre des techniques de saisie (système de codage) adapté à la nature du phénomène observé, afin de fixer et de saisir l'information sur un support.

Les données brutes seront soit directement exploitées par le cartographe, ou bien feront l'objet d'une interprétation par un spécialiste pour réaliser des maquettes. Le cartographe pourra alors effectuer une transcription et une modélisation cartographique accessible par l'utilisateur. Les techniques cartographiques utilisées comprennent généralement :

- L'élaboration des spécifications de la carte, au terme de l'analyse, de la structuration des données et enfin de la mise en forme en langage graphique.
- La réalisation des méthodes de fabrication.
- La production et le suivi jusqu'à la sortie du document.

L'utilisateur pourra alors extraire l'information recherchée et recréer un modèle mental aussi proche que possible du monde réel, en décryptant la carte.

Le schéma suivant (**Fig. II.1**) résume les étapes de cette démarche cartographique :



**Fig. II.1** : Etapes de la démarche cartographique [WEGER-1999]

### **II.4 Principaux Composants d'une carte :**

Parmi les composants d'une carte on peut citer essentiellement :

- **Le titre** : Il sert à identifier la carte et doit être le plus explicatif possible en précisant les variables utilisées et les espaces concernés.
- **Le cadre** : celui-ci entoure et arrête les espaces concernés par l'étude.

## II CARTOGRAPHIE

---

- **L'échelle** : Elle est le rapport entre la mesure d'une distance sur le terrain et la mesure de la même distance sur la carte. Elle s'exprime de deux façons :

Par une échelle numérique : telles que celles utilisées sur les cartes topographiques type 1/25 000° ou 1 cm sur la carte représente 250 mètres sur le terrain.

Par une échelle graphique : Un segment sur la carte représente une distance sur le terrain. L'avantage de cette représentation est que l'on peut conserver l'échelle lors des modifications du document (en agrandissement ou en réduction).

- **La légende** : Elle décrit les entités géographiques représentées sur une carte à l'aide de symboles linéaires, surfaciques, ponctuels et textuels.
- **La rose des vents** : Elle décrit l'orientation de la carte. Par convention, dans l'espace, le Nord est représenté vers le "haut" de la carte mais ce n'est pas une règle absolue.

### II.5 les étapes de lecture d'une carte : [BRUNET, 1987]

Elles peuvent être résumées comme suit :

- La vue d'ensemble,
- Le décodage de la légende,
- La reconnaissance des formes,
- L'interprétation.

### II.6 Types de cartes :

Il existe plusieurs types de cartes, mais on peut distinguer trois classes principales :

#### II.6.1 Les cartes topographiques :

Celles-ci décrivent les aspects descriptifs de la physionomie du terrain et les principaux éléments du paysage (limites administratives et politiques, réseaux routiers et hydrauliques, relief, occupation des sols par les habitations...).

#### II.6.2 Les cartes thématiques :



## II CARTOGRAPHIE

---

Elles représentent les phénomènes qualitatifs ou quantitatifs concrets ou abstraits limités par le choix d'un ou plusieurs sujets particuliers et permettent en outre une synthèse et une description plus efficace de l'information géographique pour une éventuelle prise de décision.

Parmi les cartes thématiques on peut citer les cartes agricoles, industrielles, commerciales, géologiques, écologiques, démographiques... [WEGER, 1999] [DIDI-1993 in BOUTELDJINE, TLILI, 2000]

### **II.6.3 Les cartes schématiques ou de synthèse :**

C'est une carte où la précision topographique n'est pas importante. Plusieurs composantes sont schématisées, afin de mettre en valeur les traits dominants des phénomènes et établir les grandes liaisons relationnelles, dans le but d'une prise de décision ou d'une analyse poussée. [WEGER, 1999]

### **II.7 Normes dimensionnelles d'une carte :**

Afin que l'utilisateur puisse interpréter l'information correctement, le cartographe doit prendre en considération des contraintes liées à la morphologie humaine, ces contraintes pouvant être décrites par les normes dimensionnelles suivantes :

- **Acuité visuelle de discrimination** : C'est l'aptitude de l'œil à percevoir la marque minimale (tâche). Elle correspond en réalité à l'angle  $\alpha = 0.09$  mm qui a pour sommet la pupille de l'œil et dont les cotés s'appuient sur les bords de la marque minimale perceptible à 30 cm environ.

- **Acuité visuelle d'alignement** : Il correspond à l'aptitude de l'œil à pouvoir apprécier que deux traits sont dans le prolongement l'un de l'autre. Sa valeur moyenne est de 0.02 mm.

## II CARTOGRAPHIE

---

- **Seuil de perception :** C'est la dimension minimale d'un élément pour pouvoir en apprécier la forme. il correspond en moyenne à 0.06 mm pour une ligne, 0.4 mm pour un carré plein, 0.5 mm pour un carré vide, 0.3 mm pour un rond vide et 0.2 mm pour un rond plein.
- **Seuil de séparation :** Il est relatif à l'écart minimal nécessaire afin de distinguer deux éléments graphiques voisins. Il correspond en général à 0.2 mm pour des éléments ponctuels ou linéaires.
- **Seuil de différenciation :** Il représente l'écart minimal de dimension entre deux éléments de même forme afin d'exprimer des paliers différents. Pour des éléments ponctuels, entre deux paliers le rapport des surfaces doit être au moins de 2. par contre pour des éléments linéaires, l'écart d'épaisseur est généralement de 0.1 mm ou plus, cela dépendra de la distance qui sépare les deux traits à comparer et éventuellement de la complexité de l'image. [WEGER, 1999]

### **II.8 Projection cartographique :**

La projection est définie comme étant une représentation plane de la sphère. On peut aussi définir la projection comme un moyen de correspondance analytique entre les points (latitude, longitude) de l'ellipsoïde terrestre et le point homologue du plan cartographique (X, Y), tel que cette correspondance soit continue :

$$X = f(\text{latitude}, \text{longitude})$$

$$Y = g(\text{latitude}, \text{longitude})$$

Où f et g sont deux fonctions continues qui définissent la projection. [GILLIOT, 2000]

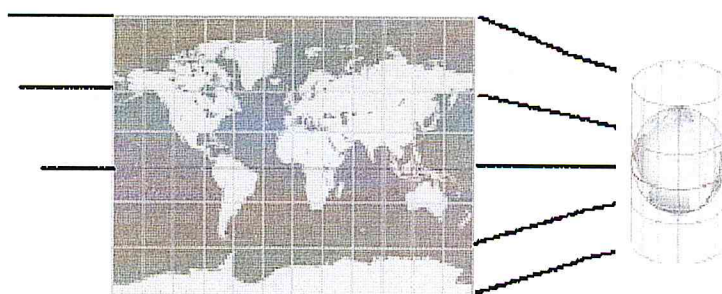
## II CARTOGRAPHIE

---

On distingue un nombre important de projections qui doivent être adaptées en fonction des informations à traiter sur la carte. Le choix se réalise en fonction des possibilités de distorsions entre certaines parties de la sphère par rapport au sujet traité. Plus on s'éloigne du centre de projection plus les altérations augmentent. Parmi les projections de l'espace mondial les plus utilisées, on peut citer :

### **a. La projection cylindrique de Mercator :**

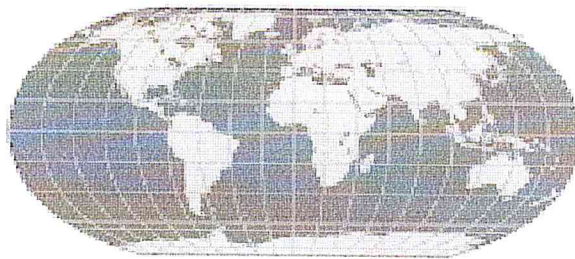
La Projection Mercator est l'une des plus anciennes (1569), elle se fait sur un cylindre tangent à l'équateur. Cette projection présente des distorsions importantes, mais respecte les angles ce qui explique son utilisation en navigation. Les distorsions augmentent progressivement des surfaces de l'équateur vers les pôles. Elle peut être utilisée dans certaines parties de l'espace terrestre (entre 45° de latitude nord et sud), en revanche elle est à exclure dans d'autres du fait de la distorsion assez importante qu'elle présente (Canada, Groenland...).



**Fig. II.2 : Projection cylindrique de Mercator [GILLIOT, 2000].**

### **b. La projection pseudo cylindrique de Robinson :**

Celle-ci □ l'avantage de représenter l'ensemble des espaces en respectant au mieux leur configuration d'origine. Elle est surtout utilisée pour les cartes mondiales générales et thématiques [INTERCARTO, 2001].



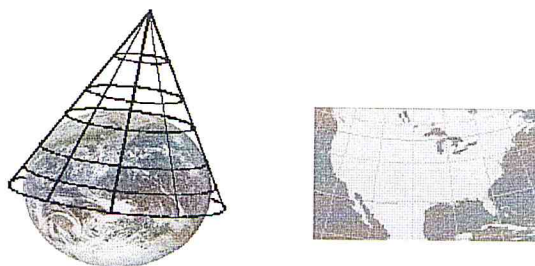
**Fig. II.3** : projection pseudo cylindrique de Robinson [GILLIOT, 2000]

### c. La projection conique de Lambert :

Cette projection est assez utilisée en europe. C'est une projection conforme sur un cône tangent à un parallèle. Pour la projection conforme de Lambert, l'altération linéaire est approximativement :

$$\frac{\epsilon Y^2}{2R^2}$$

Où R est le rayon terrestre (6371 Km),  $\epsilon Y$  la latitude en Km. [GILLIOT, 2000]



**Fig. II.4** : Projection conique de Lambert [GILLIOT, 2000]

En Algérie, on utilise le système Lambert pour réduire les erreurs de projection ; c'est ainsi que l'Algérie a été divisée en deux parties dénommées Lambert nord Algérie et Lambert sud Algérie.

### II.9 Limites de la cartographie manuelle :

Bien que la carte a été pendant longtemps le seul moyen permettant la représentation de multiples thèmes contenant des informations localisées, elle

## II CARTOGRAPHIE

---

présente néanmoins un certain nombre d'inconvénients qu'on peut résumer comme suit :

- La fabrication des cartes est longue et onéreuse et il y'a difficulté d'extraire des informations en raison de la complexité du document.
- La quantité d'informations qu'une carte peut contenir est limitée par la nécessaire lisibilité du résultat.
- Difficulté de mise à jour et de présentation d'une information fiable (il est même fréquent qu'une carte soit périmée au moment de sa parution).
- Difficulté de procéder à une analyse (interaction des données) du fait que la carte est un document qualitatif sans réelle possibilité de déterminer des éléments chiffrés traduisant un phénomène.
- Difficulté de mise en œuvre de fonctions de rapprochement topologique ou géométrique. [WEGER, 1999] [ZAOUÏ, 1996]

### **II.10 De la cartographie numérique au SIG :**

Avec l'essor de l'informatique, la possibilité de numériser l'information géographique est apparue, permettant ainsi l'émergence de la cartographie numérique, qui dérive d'une part de la conception assistée par ordinateur (CAO) et d'autre part du dessin assisté par ordinateur (DAO).

L'objectif premier de la cartographie numérique est la production assistée par ordinateur de cartes. Les logiciels de cartographie numérique ont exploité les fonctionnalités de saisie de données par le procédé de digitalisation à l'aide des tables à digitaliser permettant ainsi d'améliorer la qualité des opérations de saisie, donc de produire des cartes de meilleure qualité.

Ces logiciels de cartographie permettent en outre le traitement des problèmes de limites communes entre objets géographiques contigus.

La cartographie numérique a également exploité les fonctionnalités de la DAO\CAO qui permettent d'organiser les informations ainsi numérisées en couches.

Les logiciels de cartographie intègrent également des fonctionnalités d'habillage cartographique et permettent de changer facilement de représentation et

## II CARTOGRAPHIE

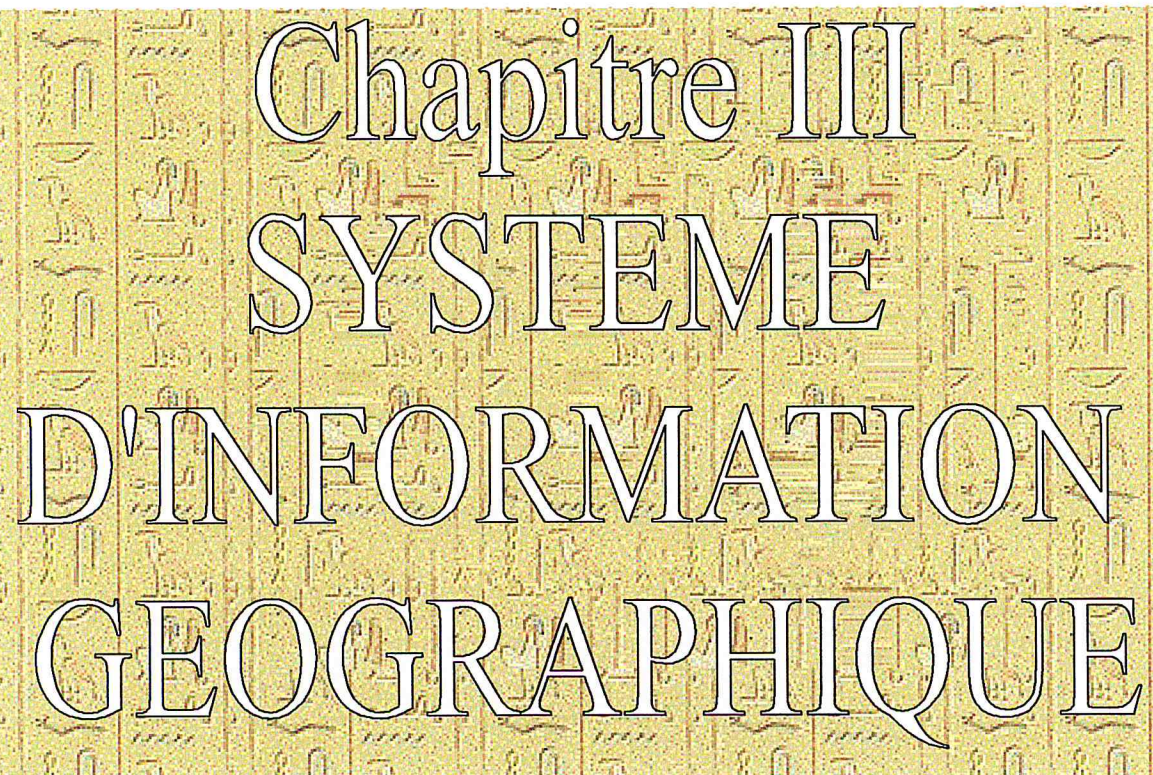
---

d'échelle ; ils sont capables aussi de traiter de façon combinée les données en mode raster et les données en mode vecteur.

Néanmoins la cartographie numérique a montré ses limites lorsqu'on a voulu réaliser certaines tâches de gestion, de mise à jour et de traitement de données géographiques de plus en plus complexes.

A ce moment là, la notion de Système d'Information Géographique (SIG) est apparue, intégrant de nouvelles possibilités de traitement et améliorant par la même la qualité des fonctionnalités. L'apport majeur des SIG que la cartographie numérique ne permet pas, peuvent être résumés comme suit :

- Tout SIG s'articule autour d'un SGBD.
- Capacité des SIG à mener à bien des opérations d'analyse spatiales et de traitement géographique.
- Les SIG intègrent des langages de développement et de manipulation de données assez élaborés [TUFFERY, 1997].



Chapitre III  
SYSTEME  
D'INFORMATION  
GEOGRAPHIQUE

#### **III.1 Introduction :**

L'information géographique présente une importance particulière pour les différents acteurs de la société tels que les hommes politiques qui souhaitent avoir une analyse des données sociales de la population, les militaires qui veulent déployer leurs équipements, un livreur qui s'intéresse à l'itinéraire le plus court pour livrer les meubles aux clients, un commerçant qui veut savoir où il doit placer son prochain magasin pour assurer un bon niveau de vente, un pompier qui veut savoir qu'elle est le meilleur itinéraire pour éteindre le feu le plus rapidement possible, un biologiste qui veut étudier le déplacement des populations animales, les hommes de santé qui veulent déterminer les zones homogènes de besoins de santé ou bien qui veulent suivre l'extension d'une maladie ou la survenue d'une éventuelle épidémie...

Les systèmes d'information géographique sont des outils d'analyse, de diagnostic, de gestion, de simulation et d'aide à la décision. Par leur fiabilité et leur efficacité à répondre au besoin, ils participent au développement économique, à l'aménagement du territoire, à la production de connaissance (recherche, formation...), à l'analyse environnementale....

Dans l'histoire des technologies de l'information, l'apparition des SIG est très récente. On peut situer la naissance des SIG vers la fin des années 70, cette date coïncidant avec l'émergence des premiers logiciels informatiques capables d'exploiter des données localisées. A titre d'exemple on peut citer le cas du logiciel SIG le plus utilisé au monde, le logiciel ARC-INFO, qui a vu le jour grâce à des travaux de recherches entrepris dans une université américaine au début des années 70. Mais c'est à partir du début des années 80 que le traitement des données localisées s'est étendu à d'autres secteurs que la recherche et l'utilisation des SIG a dépassé le cadre dans lequel on voulait la cantonner, essentiellement la cartographie.

Aujourd'hui, les SIG sont utilisés dans presque tous les domaines et touchent à tous les secteurs d'activités et le nombre d'utilisateurs ne cesse de croître.

On a essayé à travers le présent chapitre, de présenter les principes et les notions de base des systèmes d'information géographique.

#### **III.2 Définition :**

Depuis leur apparition, les SIG ont fait l'objet dans la littérature de plusieurs définitions; parmi celles qui ont eu un réel succès on peut citer :



"Un SIG est un système de gestion de base de données pour la saisie, le stockage, l'extraction, l'interrogation, l'analyse et l'affichage des données localisées" [PORNON, 1992 in TUFFERY, 1997].

Une autre définition qui est tournée vers les besoins des décideurs est donnée par DIDIER (1990) : "Un SIG est un ensemble de données repérées dans l'espace, structurées de façon à pouvoir en extraire des synthèses utiles à la décision".

Pour ROUET (1991) : « les SIG utilisent des moyens informatiques pour stocker, consulter et manipuler les objets représentés sur les cartes ou les plans, ainsi que les informations qui leur sont directement ou indirectement attachées » [In TUFFERY, 1997]

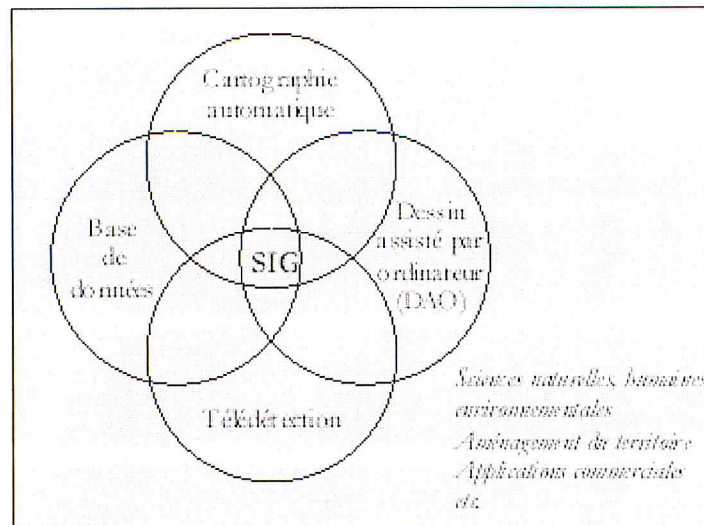
Le Comité fédéral de coordination inter agences pour la cartographie numérique (1988) le définit comme étant un système informatique de matériels, de logiciels et de processus conçus pour permettre la collecte, la gestion, la manipulation, l'analyse, la modélisation et l'affichage de données à référence spatiale afin de résoudre des problèmes complexes d'aménagement et de gestion.

Le comité scientifique du colloque intégration de la photogrammétrie et de la télédétection dans les SIG SFPT (Strasbourg 1990) a adopté une autre définition : « Un SIG est un système informatique permettant, à partir de diverses sources, de rassembler et organiser, de gérer, d'analyser et de combiner, d'élaborer et de présenter des informations localisées géographiquement contribuant notamment à la gestion de l'espace »

Ainsi il ressort qu'un SIG est un système informatisé (matériels, méthodes et logiciels) permettant de gérer, d'organiser, d'analyser, d'élaborer, d'afficher et de présenter des données localisées géographiquement, structurées de façon à pouvoir en extraire commodément des synthèses utiles à la décision, à la gestion et à l'aménagement de l'espace.

#### **III.3 Les principales disciplines impliquées :**

Les SIG constituent une technologie multidisciplinaire qui intègre des principes, des méthodes et des technologies hérités de plusieurs disciplines traditionnelles, comme le démontre la figure III.1 :



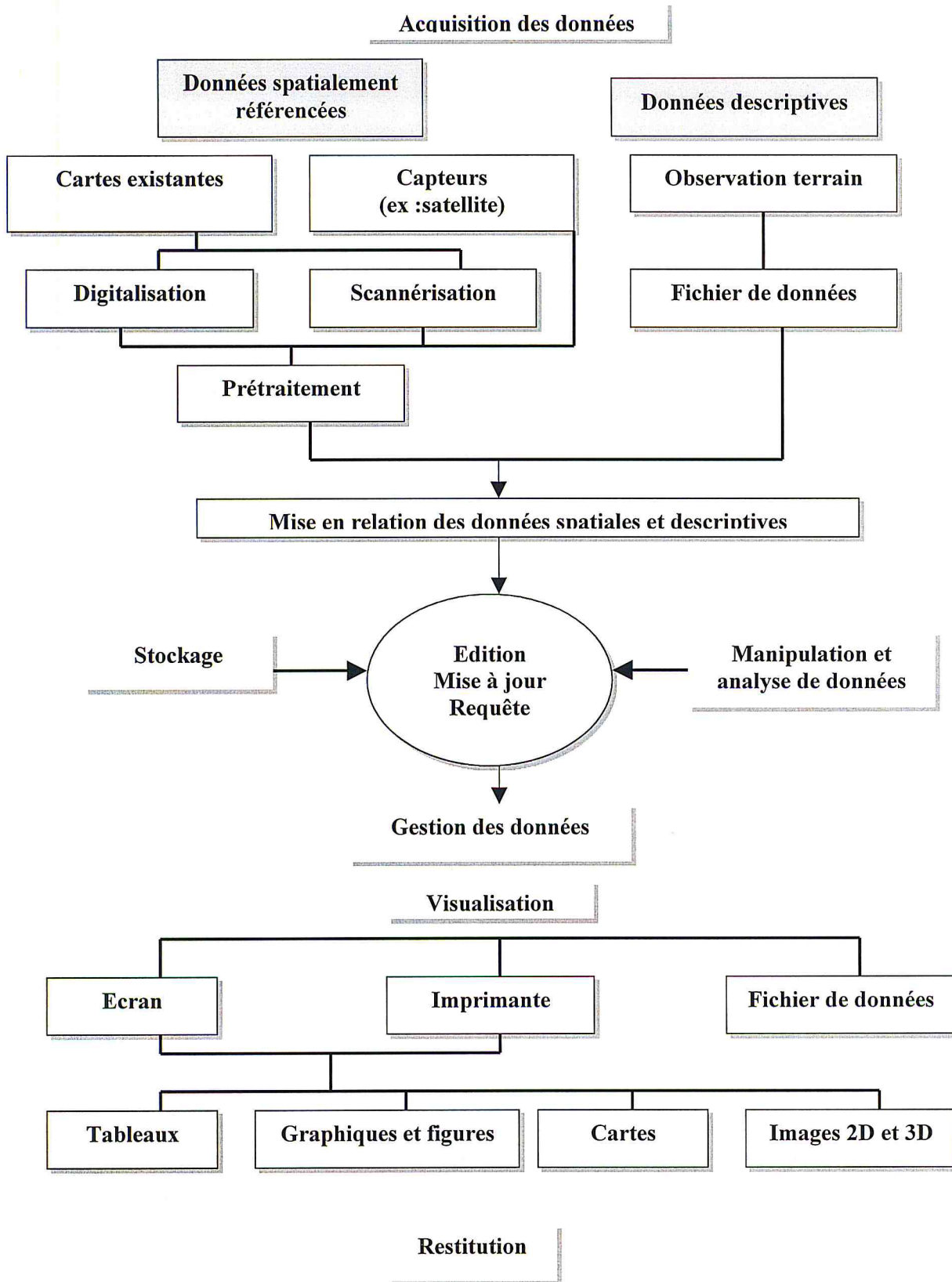
**Fig. III.1** : Principales disciplines à la croisée des SIG  
[DAO, 2003]

#### **III.4 Fonctionnalités des SIG :**

Les SIG sont généralement définis par 5 fonctionnalités principales (les 5 A):

- **Acquisition** : collecte et numérisation des données (calage, numérisation, importation et exportation de données)
- **Archivage** : Gestion et Stockage des données (fonction d'un SGBD).
- **Affichage** : visualisation de l'information géographique.
- **Analyse** : requête, modélisation et simulation.
- **Abstraction** : schéma conceptuel de données, dictionnaires et répertoires de données. [MARMONIER, 2002][DAO, 2003]

La **Fig. III.2** fait ressortir ces 5 fonctionnalités qu'on devrait retrouver dans chaque SIG :



**Fig. III.2 : Principales fonctions d'un SIG**  
[DIDON, 1990 in ZAOUÏ,1996]

#### III.5 Les questions auxquelles peuvent répondre les SIG :

Il existe plusieurs questions de base auxquelles un SIG doit pouvoir répondre, ce qui explique la multiplicité des domaines d'application de ce dernier. Un SIG doit pouvoir répondre à 5 grandes questions :

- **Où ?** répartition spatiale et localisation d'un objet ou d'un phénomène.
- **Quoi ?** que trouve-t-on à cet endroit ? Inventaire de tous les objets de l'espace concerné, identification et description des objets, superpositions, proximités.
- **Comment ?** relations existantes entre les objets ou phénomènes, analyse spatiale, Problématique, optimisation.
- **Quand ?** à quel moment des changements sont intervenus ? Âge, évolution d'un objet ou d'un phénomène, historique et actualisation des données, analyse temporelle.
- **Et si ?** Que se passerait-il si tel scénario d'évolution se produisait et quelles en seront les conséquences ? Projection dans l'avenir, simulation, études de projet ou d'impact [DAO, 2003].

#### III.6 Les composantes d'un SIG : [KAYADJANIAN, 2000]

Un système d'information géographique est constitué de 5 composants majeurs qui sont essentiels pour son bon fonctionnement :

- **Matériels :** Le SIG fonctionne aujourd'hui sur une gamme très diversifiée d'ordinateurs : des micro-ordinateurs (PC ou Mac) aux stations de travail sous Unix et des serveurs de données aux ordinateurs de bureaux utilisés en autonomie ou selon des configurations en réseau; sans oublier les périphériques qui permettent d'assurer diverses fonctions (matériels d'acquisition, de stockage et de visualisation des données).
- **Logiciel :** en outre les SIG fournissent les fonctions et les outils qui permettent de stocker, d'analyser et d'afficher ces données géographiques.
- **Données :** Ce sont certainement les composantes les plus importantes d'un SIG. le SIG peut intégrer des données géométriques et des données attributaires. cette association est l'une de ces fonctionnalités clé.
- **Utilisateurs :** Un SIG étant avant tout un outil, ce sont les utilisateurs (qui dirigent, entretiennent et gèrent le système en élaborant des plans pour l'appliquer à des problèmes réels) qui lui donnent toute l'efficacité dont il peut être porteur.

- **Méthodes** : Le succès relatif à la mise en oeuvre et à l'utilisation d'un SIG ne peut se concrétiser sans l'application de méthodes, de règles et de procédures rigoureuses et cohérentes, adaptées à la stratégie et aux objectifs de l'organisation ou de l'entreprise.

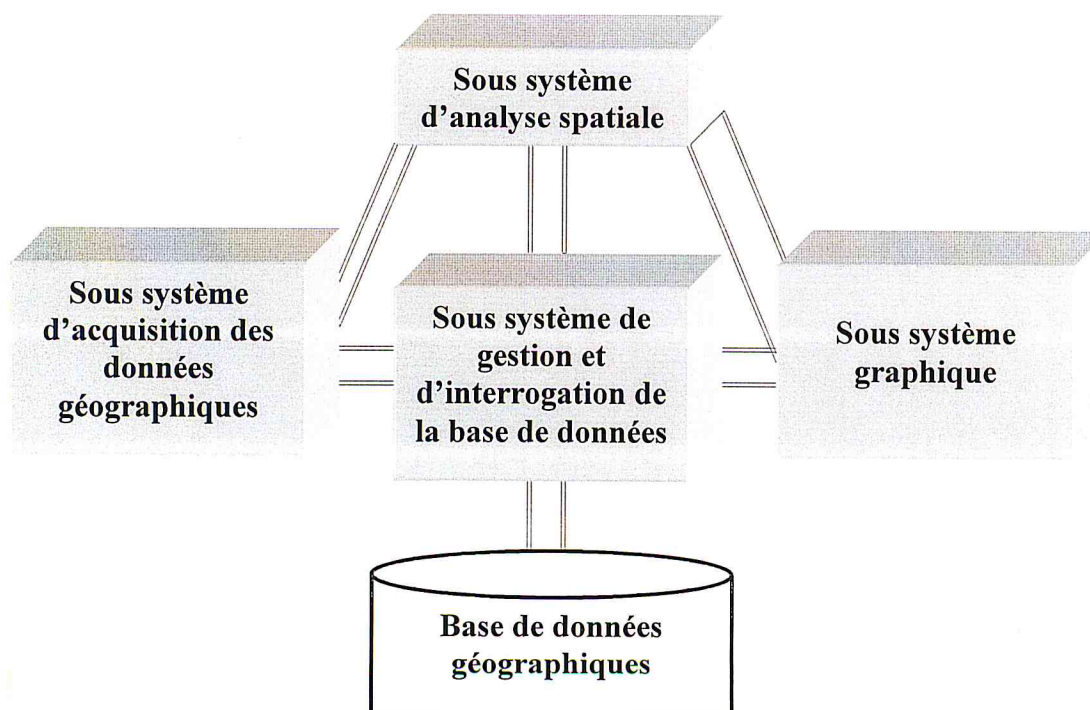
**III.7 Les sous-systèmes d'un SIG** : Un SIG est composé généralement de quatre principaux sous-systèmes au dessus d'une couche d'application. Ce sont :

**III.7.1 Le sous-système d'acquisition des données** : ce sous-système d'entrée des données permet à l'utilisateur de saisir, collecter et transformer les données spatiales et thématiques sous forme numérique.

**III.7.2 Le sous-système de stockage, gestion et interrogation des données ( fonctionnalités d'un SGBD)** : ce sous-système permet de structurer les données diverses dans une forme qui leur permettent d'être rapidement mobilisées par l'utilisateur pour une exploitation efficace.

**III.7.3 Le sous-système d'analyse spatiale** : c'est le plus important sous système dans un SIG, car il permet de le distinguer des autres systèmes d'informations. Il permet en outre d'exécuter des traitements spatiaux sur les données.

**III.7.4 Le sous-système graphique** : il permet de produire des documents graphiques tels que les cartes et les rapports qui représentent des produits dérivés de l'information originale. [LAURINII, 1996] [KAYADJANIAN, 2000] La fig. III.3 permet de schématiser ces quatre sous systèmes :



**Fig. III.3 : Structure d'un SIG [LAURINII, 1996]**

#### **III.8 Propriétés de l'information géographique :**

Etant donné qu'un SIG manipule l'information géographique qui est relative à une localisation sur la surface terrestre, localisation pouvant être définie comme un point, une surface ou un volume, elle peut être représentée sous la forme d'une correspondance entre :

**III.8.1 Descripteurs géométriques** représentant la localisation d'un objet ou d'un phénomène géographique (coordonnées), ses limites, sa forme et ses dimensions sur la surface terrestre. La localisation d'un objet peut être représentée géométriquement par deux modes :

- Le mode raster : maille de grille.
- Le mode vecteur : points, lignes, polygones.

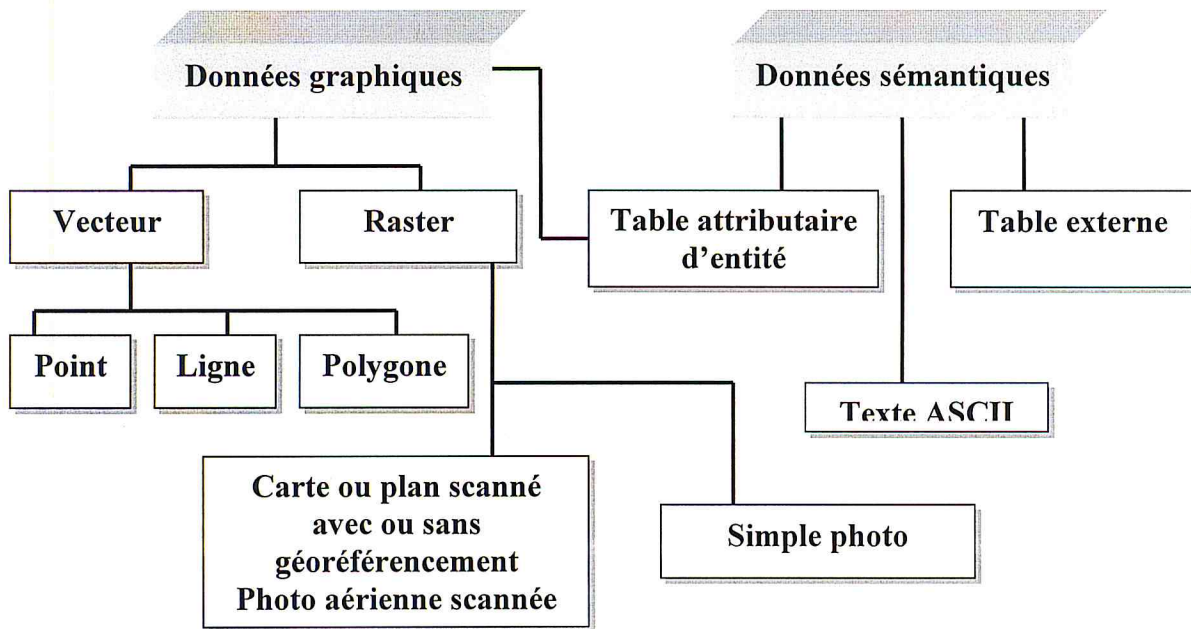
**III.8.2 Descripteurs sémantiques** représentant les caractères non graphiques d'un objet qui doit être représenté selon une base de données textuelles qui peut être gérée par un SGBD (table attributaire; un édentifiant unique permet de conserver un lien permanent avec l'élément graphique).

**III.8.3 Descripteurs topologiques :** l'organisation topologique est un concept qui apporte aux entités des informations supplémentaires concernant leur voisinage et décrivant les relations que les entités et les objets tissent entre eux au sein d'une même découpe thématique. Les relations entre les entités sont multiples : l'intersection, l'inclusion, l'exclusion, l'adjacence, la continuité et la proximité. Ces relations sont possibles grâce à la topologie qui permet en outre :

- Une cohérence entre les éléments.
- D'automatiser le traitement de contrôle des intersections de deux surfaces.
- De classer les éléments sans redondance à la manière d'un graphe (exemple : deux polygones voisins sont séparés par une limite unique).
- La connaissance implicite de certaines informations par le système une fois la saisie faite et la topologie construite (surface, largeur, inclusion...)
- D'effectuer des croisements entre couches différentes et des analyses spatiales poussées.

Ces trois descripteurs permettent de développer des applications diverses. Prenons un exemple : un lac peut être vu comme un objet géographique qui possède des coordonnées traduisant sa position (descripteurs géométriques); il peut se trouver aussi à côté d'une forêt, d'une maison (descripteurs topologiques); il peut être décrit par sa surface, les espèces qui y vivent, son volume (descripteurs sémantiques). [THORETTE, 1992 in DJEZZAR F.Z, BENAMARA F., 1999] [ANONYME, 1998].

La figure III.4 schématise correctement ces niveaux d'information qu'on retrouve dans un SIG :



**Fig. III.4** Niveaux d'information dans un SIG  
[ANONYME, 1998]

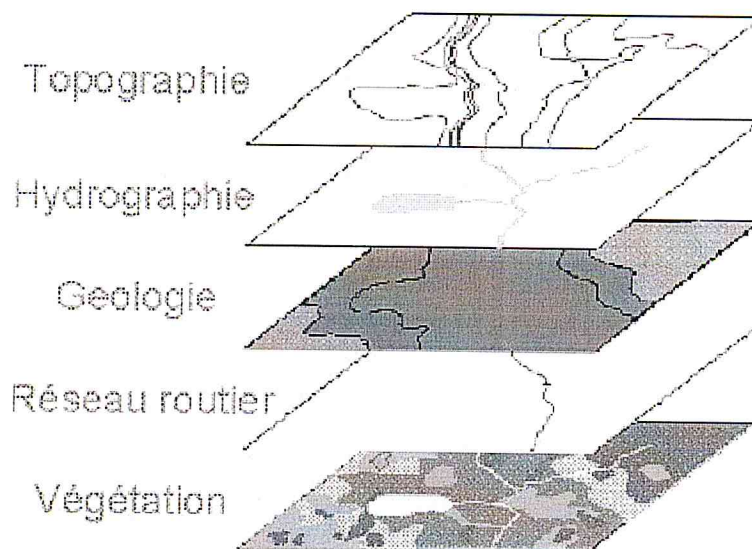
#### III.9 Notion de couche :

Les différentes étapes dans la phase de numérisation à effectuer sur une portion du territoire permettent de regrouper les données par objets géographiques de même nature. On parle alors de couches (couvertures) ou plan thématique d'information dont chaque couche correspond à tel ou tel groupe d'objets (ex : le réseau routier, le réseau hydrographique, occupation du sol...). Cette approche simple mais très puissante permet d'organiser le monde réel en une représentation simple afin de faciliter la compréhension des relations entre les objets géographiques. Cette approche permet en outre de combiner des données de nature différente (données sur l'environnement, d'occupation des sols, économiques...) et de produire automatiquement des cartes thématiques très utiles à la prise de décision.

Il en ressort que chaque regroupement est le fait d'individus qui ont très souvent des visions fort différentes d'un même territoire, en raison de leur domaine d'activité et de leur centre d'intérêt. Par exemple une même rue peut avoir plusieurs représentations selon les utilisateurs; Le responsable du trafic routier peut voir le réseau routier comme un graphe de manière à établir des plans de circulation, alors que le responsable du service du cadastre modélise cette rue comme deux polygones délimitant ses deux côtés; le chef des services des

### III SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE

réseaux souterrains (eau, gaz...) quant à lui doit voir cette rue comme un volume. [TUFFERY, 1997][LAURINI, 1996]



**Fig. III.5** Les couches d'informations

#### **III.10 Mode de représentation de l'information géographique dans un SIG :**

Deux modes sont utilisés pour numériser et stocker les données géographiques :

**III.10.1 Le mode Vecteur (ou mode objet) :** description géométrique des objets géographiques par des coordonnées. Il est constitué de trois types fondamentaux d'entités que sont : les lignes, les points (repérés par des coordonnées X et Y) et les polygones.

- **Le point :** représente une entité ponctuelle. Exemple : les poteaux électriques, les arbres ou à une autre échelle, les villes.
- **La ligne :** c'est un ensemble de segments délimités par deux nœuds; les points intermédiaires sont appelés sommets. Exemple : les routes, les réseaux hydrographiques...
- **Le polygone :** c'est une surface délimitée par une série de lignes connectées entre elles. Exemple les parcelles, les zones militaires...

En mode vecteur, une couche d'information regroupe un ensemble d'objets qu'on souhaite représenter simultanément : couche hydrographique (lacs, cours d'eau, glaciers, etc.), couche administrative (communes)...

**III.10.2 Le mode Raster (ou mode image) :** ce sont principalement des photographies numériques, des photographies scannées, des images satellites ou des plans scannés. Il correspond à une description point par point de l'espace



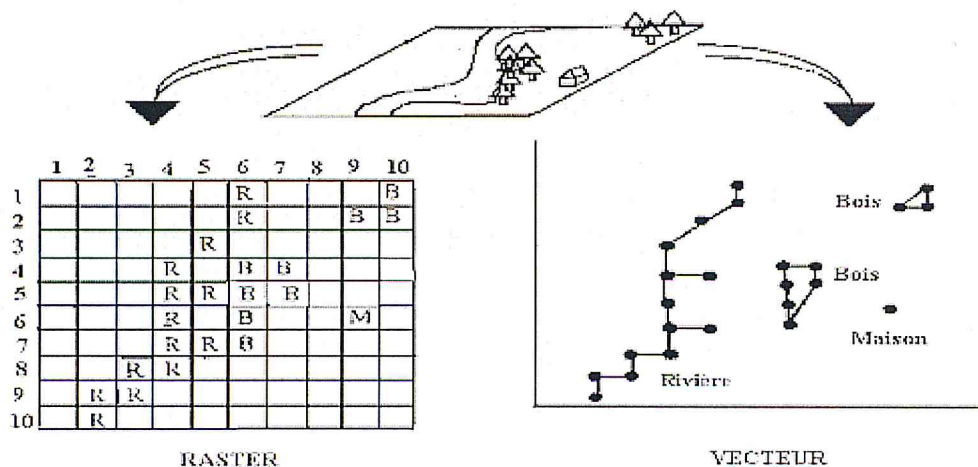
### III SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE

géographique (l'unité spatiale d'observation est le pixel ou mailles, organisé par lignes et par colonnes). Les modèles de données raster comprennent l'utilisation d'une structure des données en grille ou trame. Chaque maille de cette grille ayant une intensité de gris (indice radiométrique en infrarouge) ou une couleur (indice colorimétrique pour les photographies). Un lac sera "représenté" par un ensemble de points d'intensité identique. Il faut procéder à une analyse visuelle, à une vectorisation ou à un traitement d'image pour relier ensemble plusieurs points d'une image raster afin de recréer des objets.

Les mailles doivent avoir une taille appropriée selon la précision de données recherchée par l'utilisateur : cette taille est appelée résolution. La valeur en chaque point traduit un phénomène ou évalue une caractéristique (valeur binaire, couleur ou altitude).

La détermination appropriée de la résolution pour une couche de données particulière est un problème délicat. Une taille trop grande peut entraîner la généralisation excessive des données. Par contre une taille trop fine de cellule peut accroître de façon inconsidérée le volume de données et rallonger les temps de traitement. [MARMONIER, 2002][DAO, 2003][HABERT, 2000]

La figure III.6 permet de schématiser ces deux modes :



**Fig. III.6** Représentation de l'information géographique en mode vecteur et Raster

#### III.10.3 Comparaison entre les deux modes :

Le tableau ci dessous résume bien les avantages et les inconvénients que présente chaque mode.

### III SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE

Mode	Avantages	Inconvénients
<b>Raster</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Apporte à l'utilisateur une information globale.</li> <li>. Structure de données simple.</li> <li>. Bonne représentation des réalités continues.</li> <li>. Saisie rapide et quasiment automatique (les données discrètes comme les données continues sont faciles à intégrer).</li> <li>. Analyse spatiale aisée.</li> <li>. Combinaison de couches aisée (unités spatiales directement comparables).</li> <li>. Facilité de modélisation mathématique et d'analyse quantitative.</li> <li>. Mise à jour des données rapide par accès direct à la cellule.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Volume de stockage des données très important, ce qui induit des problèmes de délais de traitement.</li> <li>. Impossibilité de sélectionner, de restituer, de classer ou d'interroger les entités individuellement parmi celles affichés.</li> <li>. Position et forme des objets peu précises (dépend de la résolution).</li> <li>. La dimension de cellules détermine la résolution à laquelle les données sont représentées.</li> <li>. Difficulté d'établir les liens de réseau et de réaliser certaines opérations ayant trait à la topologie. (ex : recherche du chemin optimal).</li> </ul>
<b>Vecteur</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Volume de stockage des données compacte (ne prend pas beaucoup de place).</li> <li>. Excellente qualité d'affichage et d'impression.</li> <li>. Représentation schématique précise de la position (localisation), de la dimension et de la forme des objets.</li> <li>. Bonne intégration avec les bases de données relationnelles.</li> <li>. Approche par objet.</li> <li>. La production graphique est proche de la représentation cartographique traditionnelle.</li> <li>. Facilité de réalisation des traitements géométriques. La topologie est adaptée pour l'analyse de réseau et la proximité.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Numérisation des données très coûteuse en temps.</li> <li>. Peu adapté à la représentation de réalités continues.</li> <li>. Croisement de couches complexes et difficile à mettre en œuvre</li> <li>. La structure topologique est statique, et toute mise à jour exige sa reconstruction.</li> </ul>

**Tableau III.1 : Avantages et inconvénients des modes Vecteur et Raster**

#### III.11 L'interrogation dans les SIG :

Généralement deux types de requêtes peuvent être formulés dans un SIG :

**III.11.1 Requêtes alphanumériques :** elles se font sur l'attribut descriptif de l'information géographique (ce type de requête peut être simple quand il repose sur un seul champ sémantique, une combinaison arithmétique et logique de champs ou une sélection par jointure sur une autre table).  
Exemple : nombre d'habitants d'une région.

**III.11.2 Requêtes spatiales :** elles se basent sur les attributs géométriques ou topologiques de l'information géographique (résultat de calculs dynamiques concernant les propriétés spatiales des objets). On retrouve généralement deux types de requêtes spatiales :

**III.11.2.1 Requêtes d'analyse spatiale :** ce sont des requêtes élaborées. Parmi les requêtes d'analyse spatiale classiques on peut citer : la recherche d'un site optimal qui fait appel aux techniques issues de la recherche opérationnelle (le meilleur site pour l'implantation d'une centrale de police par exemple), la recherche du chemin optimal ou enfin le découpage optimal d'une zone ou d'une sous zone, très utilisé pour l'organisation d'élections électorales par exemple.

**III.11.2.2 Requêtes interactives :** ce sont des requêtes du type « Qu'y a t'il en un point ou dans une région donnée ? », le point ou la région étant par exemple pointé à la souris (ces requêtes font appel à des algorithmes spéciaux de géométrie). A partir de ces requêtes, on peut définir d'autres requêtes du type : rechercher les commerces situés à moins de 1 Km de la frontière tunisienne.  
[LAURINI, 1996]

### **III.12 L'indexation spatiale :** [SHOLL & all, 1996]

L'indexation spatiale est la technique permettant d'identifier rapidement des objets en fonction de leur localisation.

Lorsqu'il s'agit d'une requête mettant en jeu qu'un attribut descriptif (attribut non spatial), la recherche peut être accélérée par l'optimiseur du langage de requêtes en utilisant un index classique (l'arbre B est le plus utilisé).

Dans le cas d'une requête spatiale, les objets sont recherchés d'après leur position dans l'espace (l'exemple d'un pointé où l'opération de fenêtrage qui consiste à trouver l'objet contenu ou en intersection d'un rectangle donné).

Un test effectué séquentiellement sur chacun des objets de l'espace prend beaucoup de temps (sur une base d'un million de points, un pointé par exemple peut prendre de plusieurs dizaines à plusieurs centaines de secondes suivant la puissance de la machine).

Pour que ce test (pointé) se fasse en moins d'une seconde, une bonne méthode d'indexation est indispensable.

### III SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE

En réalité on ne recherche pas un point s'il appartient à un objet géométrique quelconque [chaque objet est représenté par son plus petit rectangle englobant « rem » (rectangle englobant minimal)].

Chaque identifiant d'objet géométrique est regroupé avec son rem en formant un couple (rem, oid).

L'espace est découpé en n cellules (de taille identique ou différente selon le type d'index, les cellules sont réparties uniformément ou pas sur l'espace selon également le type d'index). Chaque cellule contient un nombre prédéfini de couple (rem, oid) selon la taille de la page.

**III.12.1 Classification des types d'index spatiaux :** il existe plusieurs types d'index spatiaux, parmi les plus utilisés on peut citer :

- Les structures en grille (adaptées aux données de taille régulière uniformément réparties dans le plan).
  - Les arbres R (Rtree).
  - Les arbres K-D (une structure d'arbre binaire).
  - Les arbres quaternaires. (quadtree, le plan est récursivement découpé en quatre quadrants).

**Choix d'index :** Afin de bien montrer les caractéristiques de chaque structure et de pouvoir comparer entre les différentes structures, nous avons dressé le tableau III.2 d'évaluation des types d'index selon plusieurs critères.

Structures	Grilles	Arbres Q	Arbres R	Arbres k-d
Mise en œuvre	simple	simple	complexe	complexe
Adaptation à la distribution des données	non si régulière, faible si adaptatif	moyenne	excellente	moyenne
Stockage en mémoire secondaire	Problématique si gros volume	Peu adapté	excellent	Peut adapté sauf k-d-b
Performances Mise à jour	faibles	moyenne	bonnes	bonnes
Performances pointé	bonnes	bonnes mais liées au point	Bonnes à excellentes(R+)	moyennes

**Tableau III.2 :** Comparaison entre les différents index [SHOLL & all, 1996]

### III SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE

---

Nous avons essayé à travers ce chapitre de mettre en évidence les concepts de base définissant le domaine des systèmes d'information géographique (définition, domaine d'utilisation, ses fonctions, sa structure et outils).

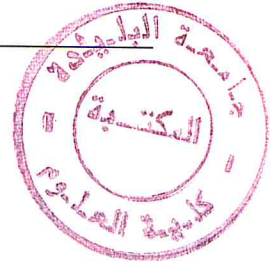
Le développement de l'informatique, combinés avec l'application de nouveaux besoins en information pour l'aménagement du territoire, la protection de l'environnement ont contribué à l'émergence des SIG qui sont devenus très performants, intégrant des outils de travail très efficace ainsi que des requêtes assez compliquées de manière à répondre rapidement et complètement à des besoins d'analyses évoluées.

Pour illustrer l'intérêt des SIG et mettre en évidence une de ses applications, nous avons pensé à l'appliquer au niveau d'un point crucial pour notre pays, à savoir l'eau et plus précisément la qualité des eaux souterraines. C'est ce que nous allons voir dans le chapitre suivant.



## Chapitre IV

# QUALITE DE L'EAU SOUTERRAINE ET NOTION DE VULNERABILITE



## IV.1 : QUALITE DE L'EAU SOUTERRAINE

### IV.1.1 Introduction :

Parallèlement à leur surexploitation en débit, les nappes d'eaux souterraines du Nord du pays subissent, ces dernières années, des phénomènes de pollution qui se manifestent de plus en plus avec le développement des centres urbains, des industries et certaines pratiques agricoles.

Face à ces risques qui entraînent la détérioration de la qualité de cette ressource, déjà en quantité limitée, il est impératif d'agir dans le sens de sa préservation et de sa protection.

La Mitidja est l'une des plaines les plus fertiles d'Algérie, de 1300 Km<sup>2</sup> de superficie. Cette plaine renferme deux importantes nappes qui assurent les différents besoins en eau de la capitale et des agglomérations environnantes.

Le développement agricole de la plaine a aussi entraîné l'apparition d'une pollution des eaux souterraines par les nitrates due essentiellement à l'utilisation abusive des engrais.

L'agence Nationale de Recherche en Hydraulique (ANRH) effectue régulièrement des prélèvements à partir de différents forages; ces examens portent essentiellement sur la surveillance du niveau de la nappe ainsi que de la quantité de nitrates présente dans l'eau.

### IV.1.2 Les eaux souterraines :

On distingue en sous-sol deux sortes de réservoir d'eau :

- Les premiers sont des nappes libres. Elles sont surmontées de terrains perméables et leur niveau varie librement. Elles interviennent dans le cycle de l'eau.
- Les deuxièmes sont des nappes captives. Recouvertes de terrains imperméables, elles ont un volume quasiment invariable. Ce sont des stocks.

Lorsqu'une nappe souterraine a été polluée, il est très difficile de récupérer sa pureté originelle : les polluants ayant contaminé la nappe sont en effet non seulement présents dans l'eau mais également fixés et absorbés sur les roches et minéraux du sous sol [MONOD, 1989].

## IV Qualité de l'eau souterraine et notion de vulnérabilité

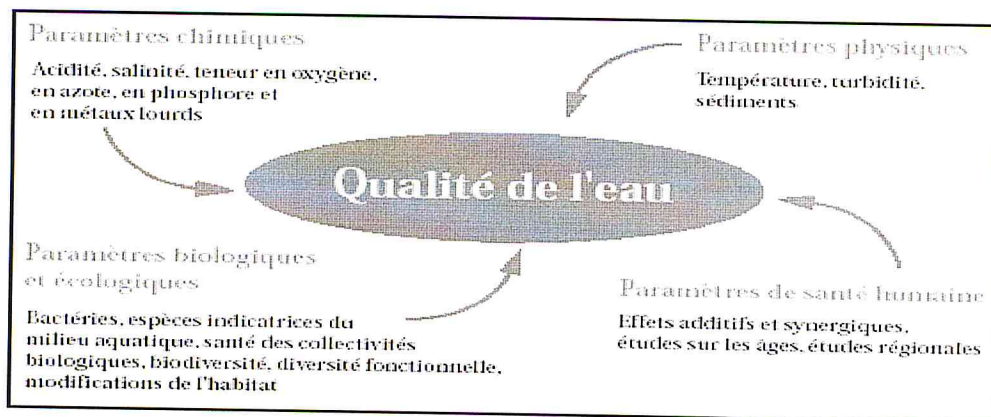
### IV.1.3 Les normes d'une eau potable :

Le tableau IV.1 donne les normes d'eau potable établies par l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) :

Paramètres	Valeurs-limites	Paramètres	Valeurs-limites
<b>Paramètres physico-chimiques</b>		<b>Substances toxiques</b>	
Température	25 °C	Arsenic	50 mg/m <sup>3</sup>
pH	6,5 à 9,5	Cadmium	5 mg/m <sup>3</sup>
Chlorure	200 g/m <sup>3</sup>	Cyanure	50 mg/m <sup>3</sup>
Sulfates	250 g/m <sup>3</sup>	Chrome	50 mg/m <sup>3</sup>
Magnésium	50 g/m <sup>3</sup>	Mercurure	1 mg/m <sup>3</sup>
Sodium	150 g/m <sup>3</sup>	Nickel	50 mg/m <sup>3</sup>
Potassium	12 g/m <sup>3</sup>	Plomb	50 mg/m <sup>3</sup>
Aluminium total	0,2 g/m <sup>3</sup>	Antimoine	50 mg/m <sup>3</sup>
Résidu sec	1500 g/m <sup>3</sup>		
<b>Substances indésirables</b>		<b>Paramètres microbiologiques</b>	
Nitrates	50 g/m <sup>3</sup>	Coliformes totaux	0 pour 95 % d'analyses
Nitrites	0,1 g/m <sup>3</sup>	Coliformes thermo tolérants	0/100 ml
Ammonium	0,5 g/m <sup>3</sup>	Streptocoques fécaux	0/100 ml
Azote organique	1 g/m <sup>3</sup>	Clostridium	< 5/100 ml
Hydrocarbures dissous	10 mg/m <sup>3</sup>	Staphylocoques pathogènes	0/100 ml
Phénols	0,5 mg/m <sup>3</sup>	Salmonelles	0/5 l
Détergents anioniques et fer	200 mg/m <sup>3</sup>	Entérovirus	0/10 l
Manganèse	50 mg/m <sup>3</sup>	<b>Pesticides</b>	
Cuivre	1 g/m <sup>3</sup>	Total :	0,50 mg/m <sup>3</sup>
Zinc et phosphore	5 g/m <sup>3</sup>		

Plusieurs indicateurs entrent en jeu afin de définir la qualité d'une eau, bien que les méthodes utilisées pour déterminer cette qualité relèvent souvent de la chimie mais également de la physique et de la biologie comme le démontre le schéma ci-dessous :





**Fig. IV.1 : Approche holistique à l'évaluation de la qualité de l'eau**  
[COOTE, GREGORICH, 2000]

### IV.1.4 Dangers que présente une eau polluée :

Lorsqu'un agent infectieux a atteint un organisme, la maladie d'origine hydrique devient apparente seulement après un laps de temps appelé temps d'incubation. [MASSCHELEIN, 1992]

Les eaux que la population de différentes communes de la Mitidja consomme, sont généralement des eaux souterraines puisées de la nappe par forage. La qualité de cette eau souterraine est menacée par différentes sources de pollution. En effet, La plupart des forages sont situés dans des zones agricoles, donc ces eaux peuvent être affectées par les nitrates. L'augmentation du taux de nitrates dans l'eau n'est désirable ni pour l'environnement ni pour l'homme car par l'effet des bactéries, les nitrates sont transformées en nitrites dans l'estomac, substances qui réagissent avec l'hémoglobine en fixant l'oxygène d'où mort par asphyxie.

Les scientifiques ont en outre constaté que les nitrites ont des effets cancérigènes lorsqu'ils se combinent avec des dérivés azotés organiques issus de l'alimentation.

Le **tableau IV.2** permet de résumer les maladies hydrique enregistrées à Boufarik durant la période (1990-1997) [LADLI, SADAT, 1998]

Maladies	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
Typhoïde	4	34	13	15	5	6	3	2
Cholera	20	-	-	-	1	-	-	-
Dysenterie	-	-	-	-	-	3	1	8
Rougeole	-	-	-	-	-	-	-	59

Par ailleurs, le **tableau IV.3**, ci-dessous permet d'établir les cas de maladies à transmission hydrique dans différentes communes de la Mitidja (1997) : [LADLI, SADAT, 1998]

## IV Qualité de l'eau souterraine et notion de vulnérabilité

Maladies	Boufarik	Bouinan	Soumaa	Chebli	T.El merdja	Benkhilil	Birtouta	Guerrouaou
Cholera	0	0	0	0	0	0	0	0
Typhoïde	2	2	2	1	1	5	1	1

### IV.1.5 Pollution des eaux souterraines :

L'eau souterraine est considérée comme polluée lorsqu'elle contient des substances autres que celles liées à la nature des terrains qu'elle a traversés ou dans lesquels elle séjourne. En particulier lorsque, les concentrations des constituants dissous ou en suspension dépassent les concentrations maximales admissibles fixées par l'OMS.

La pollution modifie certaines caractéristiques de l'eau (composants physico-chimiques, bactériologiques, biologiques) et suscite une altération qui la rend impropre à certaines de ses fonctions. C'est de cette vision que découle la définition de MARGAT (1968) : «La pollution correspond à une perte d'appétit ou à un appauvrissement du potentiel de l'eau».

Les nitrates, qui polluent les nappes par infiltration, représentent une des principales sources de pollution.

### IV.1.6 Caractérisation de la pollution :

La pollution est caractérisée par le «DEFI» c'est à dire sa durée, son étendue, sa fréquence et son intensité (PARASCANDOLA, 1980).

- **Durée** : La durée de l'émission polluante est très variable en fonction de son origine, des moyens de détection et des moyens de lutte pour son atténuation.

- **Etendue** : l'étendue de la propagation d'un polluant dépend de sa source, du volume du polluant, des possibilités de détection et des moyens utilisés pour la stopper.

- **Fréquence** : La fréquence d'un phénomène de pollution est directement liée à l'activité humaine à laquelle elle se rapporte, aux mesures prises dans le sens de diminution des actes volontaires ou involontaires de pollution et à l'existence d'infrastructures.

- **Intensité** : Elle est fonction de la toxicité des contaminants et de leur concentration.

### IV.1.7 Origine des polluants :

Les polluants peuvent être classés suivant différents critères :

### IV.1.7.1 En fonction de l'origine de la pollution :

- . **Urbaine :** eaux usées domestiques, eaux pluviales, eaux d'infiltration sous dépôts d'ordures...
- . **Industrielle :** eaux de rejet, eaux d'infiltration sous dépôts industriels, liquides dangereux tel que les hydrocarbures, eaux des lagunes,...
- . **Agricole :** eaux d'infiltration et de ruissellement sous aires cultivées où sous aires agricoles (élevages, lisières, épandages d'engrais azotés, produits phytosanitaires).

### IV.1.7.2 En fonction de la nature des polluants :

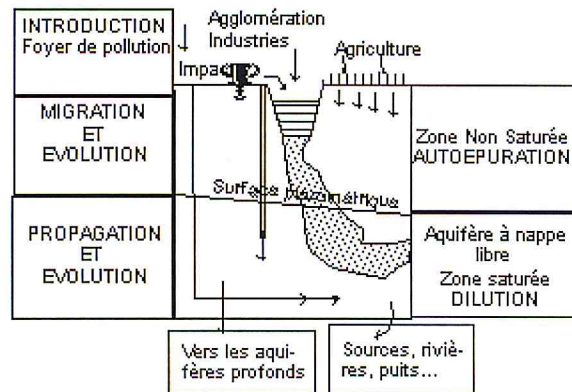
Les polluants peuvent être classés aussi par leur nature comme le démontre le **tableau IV.4** suivant [SAID, 1999] :

Nature des polluants	
Polluants physiques	Polluants organiques
La chaleur La matière solide en suspension	méthanes, ammoniacque hydrogène, sulfure
La radioactivité	<b>Micro-polluants organiques</b> Les hydrocarbures et leurs dérivés
<b>Polluants chimiques</b>	
Les sels minéraux dissous : nitrates (NO <sub>3</sub> ), nitrites (NO <sub>2</sub> )	Les PCB «polychlorobiphényles»
Les sulfates et les chlorures	Les phénols, Les pesticides, les détergents
Les micro-polluants (métaux lourds) Les cyanures, Le cuivre, Le chrome, Le plomb, L'arsenic, Le cadmium, Le mercure	<b>Polluants micro-biologiques</b> Les bactéries, virus et autres agents pathogènes

### IV.1.8 Mécanismes de transport et d'accumulation du polluant en milieu souterrain :

- Dans une nappe libre :

Une pollution se produisant à la surface du sol peut s'infiltrer jusqu'à la nappe. Mais, avant d'atteindre son toit, le polluant traverse la zone non saturée, comprise entre le sol et la surface de l'eau. Celle-ci, de nature très diverse suivant le type de roches la constituant, conditionne en grande partie le transfert vers la nappe. La perméabilité des terrains déterminera la rapidité des circulations.



**Fig. IV.2** : Origine, Transport et évolution des polluants, de la surface du sol aux écoulements [CASTANY, 1975 in SAID, 1999]

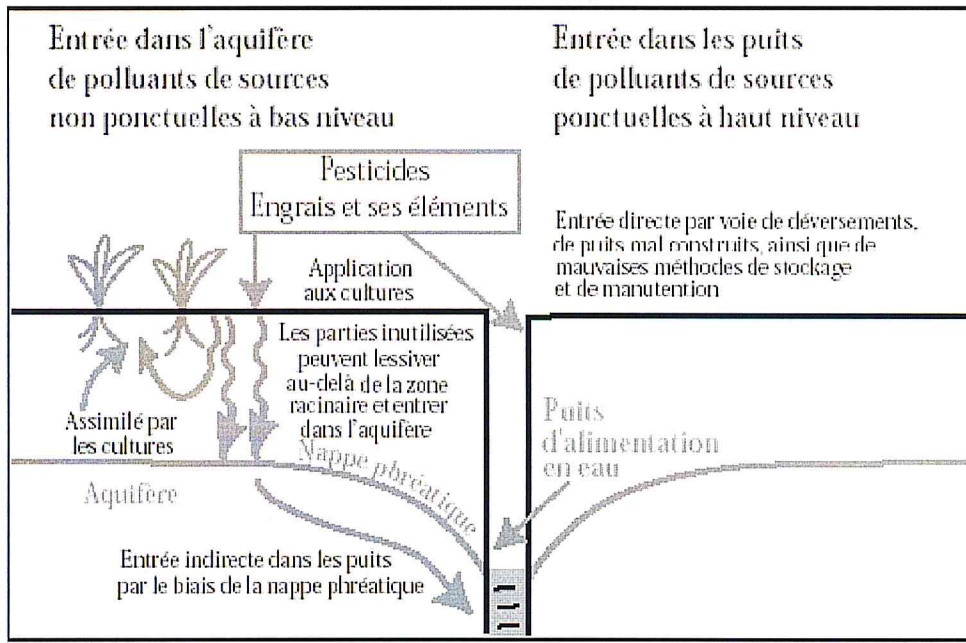
- Dans la nappe captive :

L'existence d'une roche imperméable recouvrant l'aquifère empêche le transit direct d'un polluant déversé en surface. Le polluant ne peut parvenir que par injection volontaire de déchets liquides par forage, ou par mise en communication des nappes par des ouvrages non étanches (exemple de forages d'eau profonds où de pétrole).

### IV.1.9 Pollution d'origine agricole :

Comme il ressort de la **figure IV.3**, les engrais chimiques, nitrates et phosphates, massivement employés par l'agriculture ainsi que l'élevage intensif peuvent altérer la qualité des nappes souterraines vers lesquelles ils sont entraînés.

Les nappes phréatiques se retrouvent donc polluées et prélever cette eau pour la consommation des individus devient dangereux.



**Fig. IV.3 : Entrée de produit agrochimique dans la nappe phréatique**  
[COOTE, GREGORICH, 2000]

#### Les nitrates :

L'agriculture utilise des engrais azotés sous forme d'ions nitrates où d'autres ions transformés en nitrates par les bactéries du sol. Le terme nitrate utilisé pour définir la qualité de l'eau désigne la concentration d'azote (N) présent sous la forme de nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>). Ces nitrates sont une forme soluble de l'azote qui est généralement mal absorbé par les particules du sol et qui peut donc filtrer facilement dans les eaux souterraines s'il n'est pas assimilé par les végétaux.

Cet apport d'engrais azotés lorsqu'il est réalisé en masse ne peut être absorbé en totalité par les plantes. Le surplus reste sur les sols et est lessivé par les pluies. On finit par retrouver ces nitrates dans les eaux superficielles ou dans les eaux souterraines. Les nitrates s'accumulent ainsi dans les nappes phréatiques et s'y maintiennent même si on stoppait dès aujourd'hui tout apport de nitrates dans les sols : on en trouverait encore dans quinze ans.

La mesure de la concentration en nitrate est un moyen simple et peu coûteux d'évaluer approximativement l'incidence des activités agricoles sur la qualité des ressources en eau. En effet, lorsque le seuil de 50 mg/litre est dépassé, il est vraisemblable que l'eau contient également des concentrations significatives d'autres substances liées aux mêmes activités (notamment des pesticides dans les régions de grandes cultures), que l'on recherche moins systématiquement car le coût des analyses est beaucoup plus élevé.

Le lessivage des nitrates survient particulièrement dans les régions :



Le polluant, souvent entraîné par les eaux d'infiltration, subit une migration et une évolution dans l'espace souterrain. Il est non seulement présent dans l'eau (dilution, dissolution,...etc.), mais également fixé et absorbé sur les roches et les minéraux du système aquifère, engendrant ainsi une difficulté pour rétablir sa qualité d'origine.

Le mécanisme de pollution des eaux souterraines est donc un phénomène évolutif dans l'espace et dans le temps.

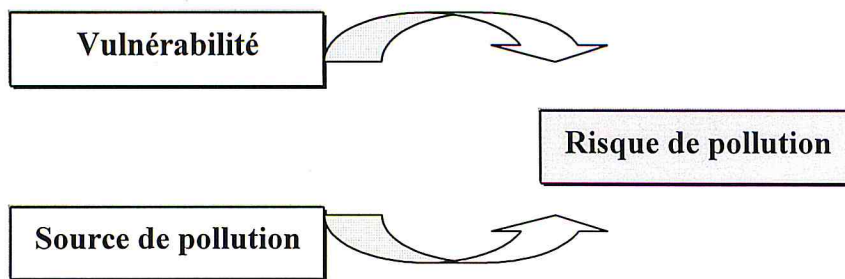
Comprendre les principes qui gouvernent les mouvements de l'eau en profondeur est donc essentiel pour évaluer le temps de réponse de la nappe à la pollution par les nitrates. Comme ces mouvements dépendent fortement de la nature des terrains, les chercheurs ont d'abord relevé leurs caractéristiques géologiques [GASCUEL, 2001].

Ce mécanisme de pollution des eaux souterraines est souvent rattaché au concept de vulnérabilité qui exprime, en fait, la sensibilité d'une nappe aux pollutions éventuellement déversées à la surface du sol. Cette sensibilité est fonction des caractéristiques géologiques et hydrogéologiques de l'aquifère.

Le concept de vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution doit traduire exclusivement les points sensibles ou les défauts de résistance des eaux souterraines aux agressions qui menacent leurs qualités [SAID, 1999].

L'analyse de la vulnérabilité des nappes repose sur un critère essentiel :

- Les caractéristiques propres aux types de polluants dans le milieu naturel entre la surface du sol et les nappes, ceci conduit à prendre en considération trois grands ensembles au comportement spécifique :
  - Sol du point de vue pédologique.
  - zone non saturée : c'est la partie des terrains aquifères non saturés en eau.
  - zone saturée : c'est la nappe elle-même.



Par ailleurs, il est difficile de dissocier les notions de vulnérabilité et de risque de pollution. La vulnérabilité est un élément de l'évaluation de la sensibilité d'une nappe à la pollution. Une carte de vulnérabilité superposée à une carte d'inventaire des sources de pollution, nous donnera un aperçu sur les sites sensibles aux risques de pollution des eaux souterraines [SALHI, 1999].

Il existe plusieurs méthodes qui permettent l'évaluation de la vulnérabilité, parmi lesquelles on peut citer : les méthodes axées sur les documents cartographiques, les méthodes basées sur la caractérisation du polluant, mais les plus utilisées restent les méthodes axées sur un système de cotation numérique (DRASTIC, PRAST, SILKA et SWIRINGEN...).

Ces systèmes de cotation comportent l'analyse de certains paramètres des aquifères par les produits de dégradation. On attribut des cotes numérotées selon la composition des paramètres. Si la cote est plus élevée, la vulnérabilité sera grande en regard de ce paramètre. Cette méthode ne tient pas en compte la nature des polluants, mais considère les mécanismes naturels de défense mis à la disposition des aquifères.

Il faut faire la distinction entre les méthodes d'évaluation de la vulnérabilité qui prennent en compte uniquement les paramètres qui caractérisent la défense ou la sensibilité d'un aquifère face à une pollution déversée en surface ainsi que les méthodes dites spécifiques, c'est-à-dire celles qui tiennent compte de la nature du polluant et des différents processus de pollution.

La méthode DRASTIC demeure la méthode de détermination de l'indice de vulnérabilité des eaux souterraines la plus communément utilisée.

#### **IV.2.2 La méthode DRASTIC :**

Cette méthode proposée repose sur les trois hypothèses de base suivantes avec lesquelles les utilisateurs doivent être familiers afin de bien cerner ses limites d'application :

- Les sources de contamination potentielles se trouvent à la surface du sol;



#### IV Qualité de l'eau souterraine et notion de vulnérabilité

---

- De la surface du sol, les contaminants potentiels atteignent l'aquifère par le mécanisme d'infiltration efficace;
- La nature des contaminants potentiels n'est pas considérée dans le calcul de l'indice.

Dans l'éventualité où l'une des trois hypothèses précédentes n'est pas rencontrée, l'interprétation de l'indice DRASTIC doit donc se faire avec prudence.

Les sept lettres de l'acronyme DRASTIC représentent les facteurs déterminant la valeur de l'indice de vulnérabilité. Ces derniers sont, dans l'ordre :

a. **La profondeur de la nappe (D)** : c'est la distance entre le sol et la nappe. Elle détermine la profondeur du matériau que le polluant doit traverser pour atteindre la nappe.

L'estimation de ce paramètre doit tenir compte des conditions de crues saisonnières. Plus la profondeur est petite plus la nappe est vulnérable à la pollution.

Cette couche est générée par la soustraction du niveau d'élévation de la nappe au niveau d'élévation du terrain.

b. **la recharge nette (R)** : l'infiltration efficace est le seul paramètre responsable de la recharge des nappes : elle représente le moyen de transfert vers le milieu aquifère ainsi le potentiel du polluant augmente avec l'augmentation de la recharge. Il faut souligner que la recharge nette correspond essentiellement à l'infiltration des précipitations mais également des eaux d'irrigation.

Cette couche est générée par la compilation de données de recharge, en calculant la différence entre les quantités en basse eau et en haute eau.

c. **Le milieu d'aquifère (A)** : C'est le matériau ou l'eau est stockée, plus le matériau est poreux plus la nappe est vulnérable à la pollution, de plus la nappe est très vulnérable si le matériaux contient des fissures.

Cette couche est générée par l'étude de l'aquifère, forage, extraction de matériau et étude, ou à travers les documents d'hydrogéologie comme les coupes de puits.

d. **Type de sol (S)** : On s'intéresse à la couche végétale du sol de 1 à 2.5 m d'épaisseur, siège d'une activité très intense. La présence des particules de textures très fines, comme l'argile, engendre une diminution de la perméabilité, donc une atténuation de la propagation du polluant.

Ce paramètre peut être généré par la numérisation de cartes pédologiques.

e. **La topographie (T)** : La variation de la pente du terrain contrôle la possibilité d'infiltration du polluant. Les terrains plats sont le siège d'une grande infiltration.

En général on utilise les modèles numériques de terrain (MNT), pour calculer les pourcentages des pentes.

f. **Impact de la zone non saturée (I)** : C'est la zone située au dessus de l'aquifère et au dessous du sol, sa texture détermine le temps de parcours du polluant du sol jusqu'à la nappe. Dans une nappe libre, généralement le type d'aquifère est le même que le type de la zone vadose.

Cette couche est générée de la même manière que celle du type d'aquifère.

g. **Conductivité hydraulique (C)** : La conductivité hydraulique est contrôlée par la texture granulométrique et le degré de fracturation du milieu aquifère. Ce paramètre est en relation directe avec les caractéristiques de l'écoulement dans la nappe (débit, vitesse, gradient hydraulique...) [SALHI, 1999].

La méthode DRASTIC consiste à attribuer un poids spécifique a chacun des paramètres cités selon son importance. Le poids des 7 paramètres est résumé par le **tableau IV.5** :

Symbole	Paramètre	Poids
D	Profondeur de l'eau	5
R	Recharge efficace	4
A	Milieu aquifère	3
S	Type de sol	2
T	Topographie	1
I	Impact de la zone non saturé	5
C	Conductivité hydraulique	3

Chaque paramètre est ensuite assigné d'une cote pouvant varier de 1 à 10. La cote 1 correspond aux conditions de moindre vulnérabilité, alors que la cote 10 reflète les conditions les plus propices à la contamination.

L'indice DRASTIC global est alors calculé par l'expression suivante :

$$\text{Indice DRASTIC} = (D_C \cdot D_P) + (R_C \cdot R_P) + (A_C \cdot A_P) + (S_C \cdot S_P) + (T_C \cdot T_P) + (I_C \cdot I_P) + (C_C \cdot C_P)$$

L'indice de vulnérabilité ainsi obtenu représente une évaluation du niveau de risque de contamination d'une formation aquifère. Ce risque augmente avec la valeur de l'indice.

L'indice DRASTIC minimum est de 23 (très faible) tandis que le maximum est de 226 (très élevé).

### **Remarque :**

L'identification des unités et des sous unités hydrogéologiques ainsi que l'évaluation des sept paramètres requièrent la connaissance de la géologie (roc et dépôts meubles), de l'hydrogéologie, de la pédologie, de la topographie ainsi que de la météorologie. Ces informations sont le plus souvent contenues dans des rapports, des banques de données existantes où obtenues à partir de travaux de terrain.

### **IV.2.3 carte de vulnérabilité :**

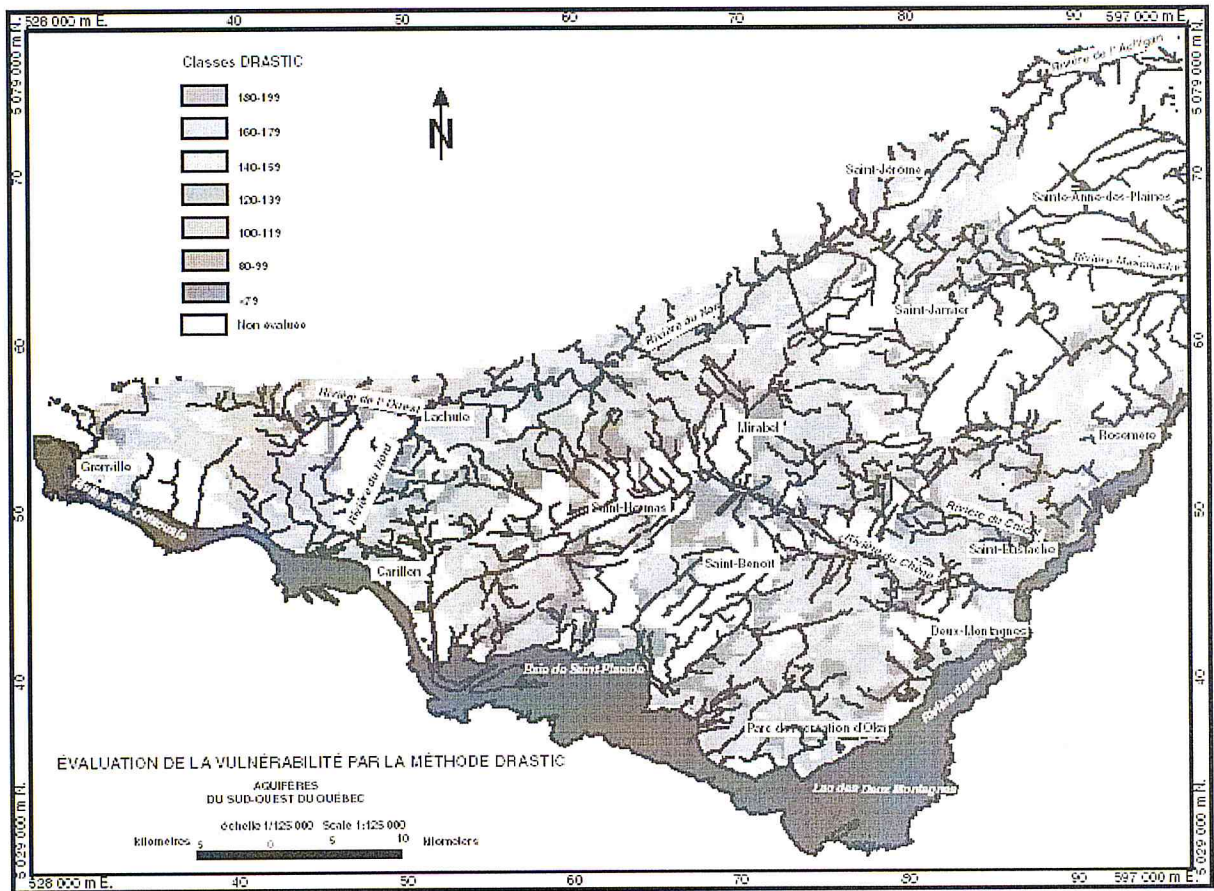
Les étapes qui mènent à la création de la carte de vulnérabilité consiste :

- A l'acquisition des données.
- Au tracé des cartes thématiques propres à chacun des paramètres considérés en attribuant des cotes aux différents paramètres puis en délimitant les zones en fonction des intervalles établis par le système de cotation DRASTIC ou PRAST.

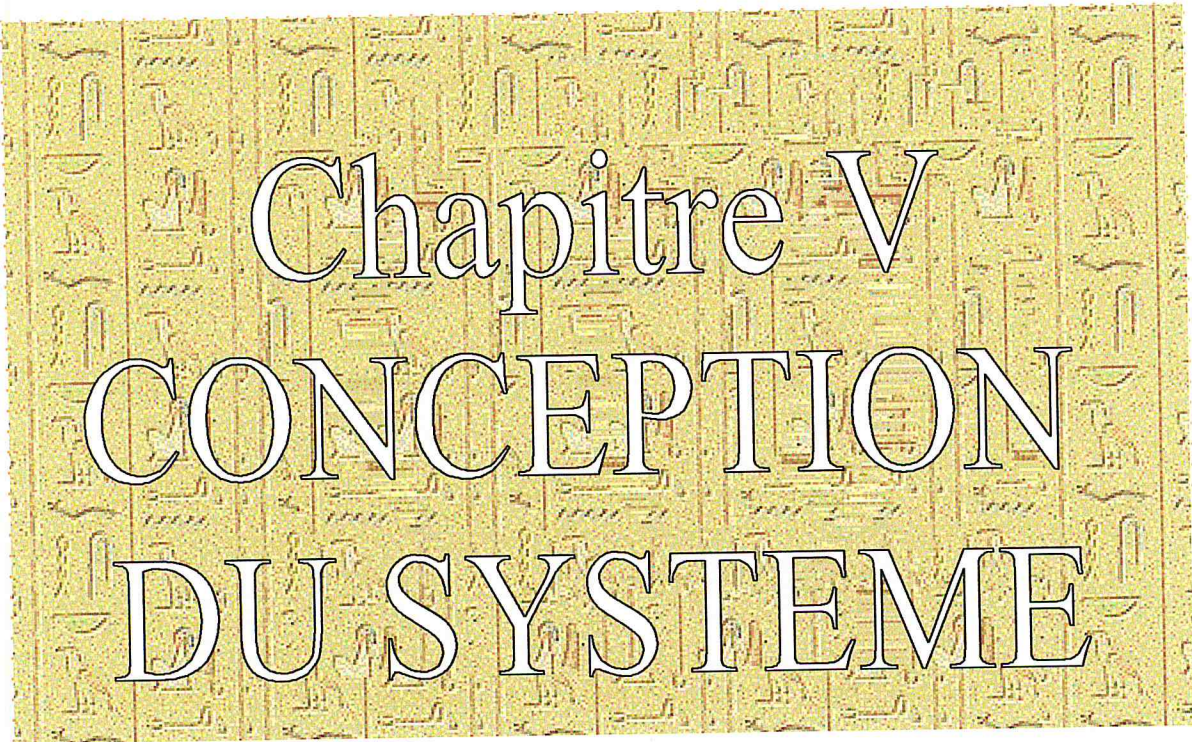
Chacune des zones ainsi délimitées reçoit une cote de 1 à 10 relative au paramètre représenté.

- A effectuer une série de superposition des différentes cartes ainsi déterminées.
- A calculer l'indice de vulnérabilité global pour chaque sous unité obtenue.
- A l'identification des unités qui se fait par une lettre et des chiffres (2A3-143) représentant le code du bassin (2), l'unité hydrogéologique (A), les sous unités hydrogéologiques (3) et l'indice général de vulnérabilité (143).
- A utiliser des couleurs propres à chaque unité pour distinguer entre les degrés de vulnérabilité, comme le démontre la figure ci-dessous :

## IV Qualité de l'eau souterraine et notion de vulnérabilité



**Fig. IV.5 : Carte d'évaluation de la vulnérabilité selon la méthode DRASTIC.**  
[Murat V. & all, 2003]



Chapitre V  
CONCEPTION  
DU SYSTEME

## V CONCEPTION DU SYSTEME

### V.1 Introduction :

Dans le but de mettre en évidence et d'identifier nos données géographiques et leurs traitements, la conception du système GESQEAU comprendra la conception de ces données géographiques et leurs traitement, afin de permettre la structuration et l'organisation de nos informations dans la future base et cela dans un souci constant de simplicité, de souplesse mais surtout d'évolutivité.

Plusieurs méthodes d'analyse et de conception ont été développées ces dernières années, malheureusement elles ne satisfont pas aux besoins des concepteurs quant il s'agit de structurer des bases de données géographiques, ne permettant pas ainsi de prendre en compte toute la complexité liée à la gestion des données spatiales et temporelles.

C'est pourquoi notre choix s'est porté sur le modèle MADS (modèle conceptuel spatio-temporel). MADS est un modèle orienté objet de type objet + relation, développé dans un contexte applicatif de gestion et d'aménagement du territoire.

MADS a été conçu selon trois axes : structurel, spatial et temporel. Mais ce qui a le plus suscité notre intérêt c'est qu'il intègre toutes les représentations topologiques possibles, donc il est mieux adapté pour modéliser notre application (GESQEAU) qui est de type topologique.

Afin de concevoir notre système, nous avons opté pour une modélisation du monde réel de certains phénomènes en couches superposées, afin de combiner des données de nature différente, de pouvoir cerner les interrelations entre ces phénomènes et enfin de produire automatiquement des cartes thématiques très utiles à la prise de décision par les responsables de la gestion de l'eau.

Pour ce faire notre base de données géographiques a été décomposée en trois principaux thèmes qui sont décrits ci-dessous :

- Vulnérabilité de la nappe souterraine à la pollution.
- Occupation du sol.
- Mesure de qualité.

Chacun des trois thèmes cités est décrit comme suit :

**La vulnérabilité de la nappe souterraine** selon la méthode DRASTIC est obtenue par la superposition de sept couches (paramètres) qui sont :

## V CONCEPTION DU SYSTEME

1. La profondeur de la nappe.
2. La recharge nette.
3. Le type d'aquifère.
4. Le type de sol.
5. La topographie (les pentes).
6. L'impact de la zone vadose.
7. La conductivité hydraulique.

**Occupation du sol :** Ce thème représente l'activité agricole exercée dans la région, considérée comme une source de pollution potentielle. Cette couche sera représentée dans notre système par une image raster (image satellitaire).

**Mesure qualité :** Ce thème représente les mesures et contrôles des substances chimiques ou organiques prélevées à partir de la nappe.

La carte de vulnérabilité ainsi obtenue superposée à la carte d'inventaire des sources de pollution (activité agricole), nous donnera un aperçu sur les sites sensibles aux risques de pollution des eaux souterraines pour un éventuel aménagement ou prise de décision.

En plus, la couche représentant la qualité de l'eau répond à des objectifs qui sont détaillés ci-dessous :

- Vérification des résultats des deux couches précédentes.
- Prévention contre les risques de pollution ponctuelle liés à des erreurs de manipulation ou des accidents qui causent une pénétration du polluant directement des puits.
- Obtention de données factuelles, vu l'importance de l'information pour la santé humaine et de l'environnement immédiat.

### **V.2 Méthodologie de conception :**

Un projet, en particulier un projet SIG qui devient de nos jours un système stratégique dans les entreprises et les organismes, se doit de suivre une démarche spécifique, généralement présentée par une série d'étapes afin de répondre aux objectifs attendus et de faciliter la conception.

Pour l'organisation de notre travail, notre choix s'est porté sur la démarche OOA (Object Oriented Analyse ou analyse orientée objets) de COAD et YOURDON, qui propose une abstraction par niveau, de manière à décrire le général ensuite donner des détails graduellement, approche boîte noire/boîte blanche.

Les concepts de OOA peuvent être représentés graphiquement comme suit :

## V CONCEPTION DU SYSTEME

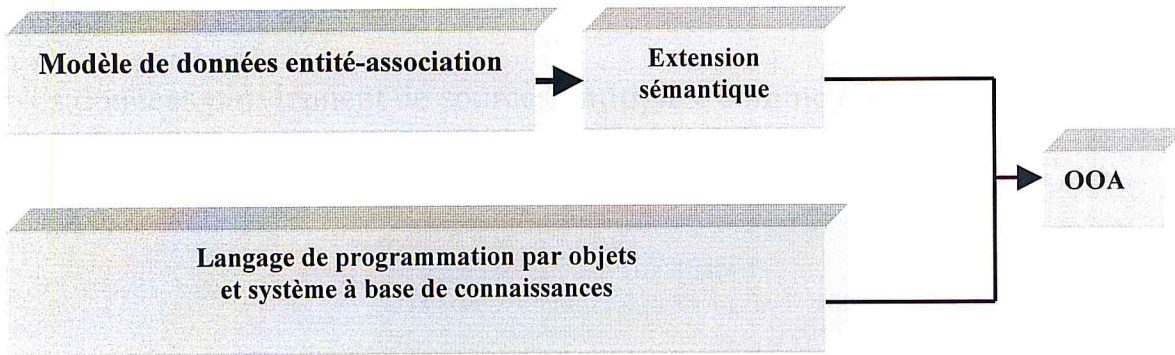


Fig. V.1 : Schéma représentant les concepts de OOA  
[MOREJON, 1994].

La démarche d'obtention du modèle n'est pas explicitement définie, mais elle propose un ensemble d'activités, en voici l'ordre fréquent proposé même s'il n'est pas impératif ; il s'agit de trouver :

- Les classes et objets : un objet est l'abstraction de quelque chose du domaine étudié.
- Les structures : les structures sont les liens d'agrégation et de spécialisation/généralisation entre objets.
- Les sujets : un sujet est un regroupement sémantique d'un ensemble de classe et de structure, qui sert à partager en lot un système complexe.
- Les attributs : un attribut est une donnée ou une information d'état, pour laquelle chaque objet dans une classe a une valeur propre, un attribut représente soit un concept atomique, ou un regroupement d'un ensemble de valeurs. Les attributs peuvent être utilisés comme identifiants de connexion entre objets et classes
- Les services : un service est un comportement qu'un objet doit fournir. La démarche de définition de services est la suivante selon (OOA) :
  - la détermination des états de l'objet et définition des services nécessaires (comportement : algorithme à exécuter)
  - la détermination des connexions de messages et le comportement associé [MOREJON, 1994].

### V.3 Zone d'étude et sources des données du système GESQEAU :

#### V.3.1 Zone d'étude :

Notre application va porter sur les données de la Mitidja centrale, région agricole particulièrement productive dont la nappe souterraine est surexploitée. Cette zone regroupe l'ensemble des communes suivantes :

BOUNAN, BOUFARIK, CHEBLI, BIRTOUTA, OUED EL ELLEUG



## V CONCEPTION DU SYSTEME

**V.4 Données sémantiques et géométriques :** le niveau descriptif consiste à décrire les données de type numérique ou textuel, ainsi que leurs méthodes. Pour une grande quantité d'informations, les données numériques ou textuelles qu'elles soient ou non associées à la géométrie forment le niveau descriptif ou sémantique. Pour la conception de notre système, nous avons recueilli un ensemble de données, que nous avons modélisés comme suit :

### V.4.1 Le dictionnaire de données :

Code de données	Désignation	Description
Profondeur (classe d'objets)	Profondeur	Distance entre le sol et la nappe souterraine
CodP	Code profondeur	Code attribué à une zone contiguë qui possède une même profondeur.
ValeurP	Valeur profondeur	Valeur en mètre de la profondeur de la nappe.
CoteP	Cote profondeur	Valeur numérique attribuée par la méthode DRASTIC correspondant à l'intervalle où se situe la valeur de la profondeur.
CotePP	Cote profondeur pondérée	Le produit de la cote et le poids de la profondeur attribuée par la méthode DRASTIC ( $coteP * poidsP$ )
Recharge (classe d'objets)	Recharge nette	Quantité moyenne annuelle que la nappe reçoit en eau.
CodR	Code recharge	Code attribué à une zone contiguë dont la recharge est identique.
ValeurR	Valeur recharge	Valeur en centimètres de la recharge.
CoteR	Cote recharge	Valeur numérique attribuée par la méthode DRASTIC correspondant à l'intervalle où se situe la valeur de la recharge.
CoteRP	Cote recharge pondérée	Le produit de la cote et le poids de la recharge attribuée par la méthode DRASTIC ( $coteR * poidsR$ ).
Aquifère (classe d'objet)	Type d'aquifère	Le matériau où l'eau est stockée.
CodA	Code aquifère	Numéro d'une zone contiguë dont l'aquifère est constitué d'un même matériau.
ValeurA	Valeur Aquifère	Désignation du matériau qui constitue l'aquifère dans cette zone.
CoteA	Cote aquifère	valeur numérique attribuée par la méthode DRASTIC qui correspond au type d'aquifère.
CoteAP	Cote aquifère pondérée	Le produit de la cote et le poids du type d'aquifère attribuée par la méthode DRASTIC ( $coteA * poidsA$ ).

## V CONCEPTION DU SYSTEME

Sol (classe d'objets)	Type de sol	Le matériau qui constitue la couche superficielle de la zone, premier rempart contre la pollution.
CodS	Cod sol	Code attribué à une zone contiguë dont le type de sol est le même.
ValeurS	Valeur sol	Désignation du matériau constituant le sol.
CoteS	Cote sol	Valeur numérique attribuée par la méthode DRASTIC qui correspond au matériau constituant le sol.
CoteSP	Cote sol pondéré.	Le produit de la cote et le poids du type de sol attribuée par la méthode DRASTIC ( $coteS * poidsS$ ).
Pente (classe d'objets)	Pente	Représente la topographie de la zone d'étude, modélisation du mouvement de l'eau à la surface.
CodPe	Cod pente	Code donné à une zone contiguë, qui forme une pente.
ValeurPe	Valeur pente	La valeur de la pente exprimée en pourcentage.
CotePe	Cote pente	Valeur numérique attribuée par la méthode DRASTIC qui correspond à l'intervalle contenant la valeur de la pente.
CotePeP	Cote pente pondérée	Le produit de la cote et le poids de la pente attribuée par la méthode DRASTIC ( $coteT * poidsT$ ).
Zone vadose (Classe d'objet)	Impact de la zone vadose	Matériau de la zone se trouvant entre le sol et l'aquifère.
CodZV	Numéro zone vadose	Code d'une zone contiguë ou le matériau constituant la zone vadose est le même.
ValeurZV	Valeur zone vadose	Désignation du matériau constituant la zone vadose.
CoteZV	Cote zone vadose	Valeur numérique attribuée par la méthode DRASTIC correspondant au matériau de la zone vadose.
CoteZP	Cote zone vadose pondérée	Le produit de la cote et le poids du type de zone vadose attribuée par la méthode DRASTIC ( $coteI * poidsI$ ).
Conductivité hydraulique	Conductivité hydraulique	Vitesse à laquelle l'eau se déplace dans le matériau.
CodCH	Numéro conductivité hydraulique	Code d'une zone contiguë dont la conductivité hydraulique est la même
ValeurCH	Valeur conductivité hydraulique	Valeur de la conductivité hydraulique dans cette zone.
CoteCH	Cote conductivité hydraulique	Valeur numérique attribuée par DRASTIC qui correspond à la valeur de la conductivité hydraulique.
CoteCHP	Cote conductivité hydraulique pondérée	Le produit de la cote et le poids de la conductivité hydraulique attribuée par la méthode DRASTIC ( $coteC * poidsC$ ).
Piézomètre	Piézomètre	Point où l'on mesure le niveau de la nappe souterraine.

## V CONCEPTION DU SYSTEME

(classe d'objets)		
CodPiéz	Code du Piézomètre	Code attribué au piézomètre.
ValeurBasseE	Valeur en basses Eaux	Valeur de l'altimétrie de la surface de la nappe en période sèche (avant les pluies).
ValeurHauteE	Valeur en hautes eaux	Valeur de l'altimétrie de la surface de la nappe en période humide (après les pluies).
RechargePiez	Recharge piézomètre	Différence entre valeur en hautes eaux et valeur en basses eaux.
RechargeMoyenne	Recharge moyenne	Moyenne calculée de la recharge sur plusieurs années
Mesure qualité (classe d'objets)	Mesure qualité	Prélèvement d'eau de la nappe pour le calcul du taux de nitrates, ou tout autre composant.
CodMesureQualité	Code de mesure qualité	Code attribué au prélèvement.
Responsable	Responsable	La désignation du responsable du prélèvement.
Mesure niveau piézométrique	Mesure niveau piézométrique	Mesure du niveau de la surface de la nappe souterraine.
CodMesureNivPiéz	Code de mesure niveau piézométrique	Code attribué à l'opération de mesure du niveau de la nappe
Ouvrage de captage (classe d'objets)	Ouvrage de captage	Désigne un ouvrage permettant l'exploitation de la nappe souterraine.
CodODC	Code ouvrage de captage	Code attribué à chaque ouvrage de captage.
DateRéalisation état	Date de réalisation Etat de l'ODC	Date à laquelle l'ODC a été réalisé. (exploité ou abandonné)
Type	Type	Type de l'ODC, selon sa profondeur, son diamètre, le matériau.
DrasticD	(classe d'objets)	
CodCoteD	Code de la cote Drastic des profondeurs	Code attribué aux intervalles des valeurs de la profondeur selon DRASTIC
ValeurMinD	Valeur min profondeur	Valeur minimum de l'intervalle des profondeurs de la cote
ValeurMaxD	Valeur max profondeur	Valeur maximum de l'intervalle des profondeurs de la cote
CoteP	Cote profondeur	La cote attribuée aux valeurs situées dans l'intervalle
DrasticR	(classe d'objets)	
CodCoteR	Code de la cote Drastic de la recharge	Code attribué aux intervalles des valeurs de la recharge selon DRASTIC
ValeurMinR	Valeur min recharge	Valeur minimum de l'intervalle de recharge de la cote

## V CONCEPTION DU SYSTEME

ValeurMaxR	Valeur max recharge	Valeur maximum de l'intervalle de recharge de la cote
CoteR	Cote recharge	La cote attribuée aux valeurs situées dans l'intervalle
DrasticA	(classe d'objets)	
CodCoteA	Code de la cote Drastic des aquifère	Code attribué aux valeurs du type d'aquifère selon DRASTIC
ValeurA	Valeur type d'aquifère	Valeur du type d'aquifère de la cote
CoteA DrasticS	Cote aquifère (classe d'objets)	La cote attribuée à la valeur de l'aquifère
CodCoteS	Code de la cote Drastic des sols	Code attribué aux valeurs du type de sol selon DRASTIC
ValeurS	Valeur type de sol	Valeur du type de sol de la cote
CoteS	Cote sol	La cote attribué à la valeur du sol
DrasticT	(classe d'objets)	
CodCoteT	Code de la cote Drastic de la topographie	Code attribué aux intervalles des valeurs des pentes selon DRASTIC
ValeurMinT	Valeur min topographie	Valeur minimum de l'intervalle des pentes de la cote
ValeurMaxT	Valeur max topographie	Valeur maximum de l'intervalle des pentes de la cote
CoteT	Cote topographie	La cote attribuée aux valeurs situées dans l'intervalle
DrasticI	classe d'objets)	
CodCoteZV	Code de la cote Drastic de la zone vadose	Code attribué aux valeurs des types de zone vadose selon DRASTIC
ValeurZV	Valeur de la zone vadose	Valeur du type d'aquifère de la cote
CoteZV	Cote zone vadose	La cote attribuée à la valeur de la zone vadose
DrasticC	classe d'objets)	
CodCoteCH	Code de la cote Drastic de la conductivité hydraulique	Code attribué aux intervalles des valeurs de la conductivité hydraulique selon DRASTIC
ValeurMinC	Valeur min conductivité hydraulique	Valeur minimum de l'intervalle de la conductivité hydraulique
ValeurMaxCH	Valeur max conductivité hydraulique	Valeur maximum de l'intervalle de la conductivité hydraulique de la cote
CoteCH	Cote conductivité hydraulique	La cote attribuée aux valeurs situées dans l'intervalle
point (classe d'objets).	point	Coordonnées X et Y

## V CONCEPTION DU SYSTEME

Ligne (classe d'objet)	Ligne	Ensemble de coordonnées X et Y qui définissent les sommets constituant la ligne.
Polygone (classe d'objets)	Polygone	Ensemble de coordonnées représentant l'ensemble des sommets du polygone
Nœud (classe d'objets)	Nœud	Un point qui est soit un nœud terminal, soit un nœud isolé ou un nœud label
Nœud terminal (classe d'objets)	Nœud terminal	Un nœud qui est extrémité d'un ou de plusieurs arcs.
Nœud isolé (classe d'objets)	Nœud isolé	Un nœud dont il représente la géométrie d'un objet réel ou la localisation d'un phénomène.
Nœud label (classe d'objets)	Nœud label	Un nœud lié à une face ou un polygone donné.
Arc (classe d'objets)	Arc	Une ligne ayant un nœud à chaque extrémité ; une ligne dont on spécifie ses extrémités, et coupant un face en deux.
Face (classe d'objets).	Face	Un polygone dont on détermine les arcs formant son périmètre.
Bassin versant (classe d'objet) CodBV	Bassin versant Code bassin versant	Représente la partie hydrographique de la zone d'étude.  Code attribué au bassin versant.
Point vers nappe (classe d'objets) CodPVN  Profondeur	Point vers nappe Code point vers nappe  profondeur	Soit un ouvrage de captage soit un piézomètre.  Code attribué au point vers nappe  Profondeur de la nappe
Point d'élévation (classe d'objet) CodPElevation  élévation	point d'élévation code point d'élévation  Elévation	Point où l'on a mesuré l'élévation.  Code attribué au point d'élévation.  Valeur de l'élévation (z) différence entre le niveau du point et le niveau de la mer.

Le tableau suivant donne pour chacune des données décrites auparavant, son type et sa longueur :

CODE DE DONNEES	TYPE	LONGUEUR
Profondeur		
CodP	Alphanumérique	4
ValeurP	Numérique	4 (1 décimale)
CoteP	Numérique	2
CotePP	Numérique	2

## V CONCEPTION DU SYSTEME

Recharge		
CodR	Alphanumérique	4
ValeurR	Numérique	3
CoteR	Numérique	2
CoteRP	Numérique	2
Aquifère		
CodA	Alphanumérique	4
ValeurA	Alphabétique	100
CoteA	Numérique	2
CoteAP	Numérique	2
Sol		
CodS	Alphanumérique	4
valeurSol	Alphabétique	100
CoteS	Numérique	2
CoteSP	Numérique	2
Pente		
CodPe	Alphanumérique	4
ValeurPe	Numérique	2
CotePe	Numérique	2
CotePeP	Numérique	2
Zone vadose		
CodZV	Alphanumérique	4
ValeurZV	Alphabétique	100
CoteZV	Numérique	2
CoteZVP	Numérique	2
Conductivité hydraulique		
CodCH	Alphanumérique	4
ValeurCH	Numérique	2
CoteCH	Numérique	2
CoteCHP	Numérique	2

## V CONCEPTION DU SYSTEME

Piézomètre		
CodPiéz	Alphanumérique	4
ValeurBasseE	Numérique	3
ValeurHauteE	Numérique	3
RechargePiez	Numérique	3
RechargeMoy	Numérique	3
Mesure qualité		
CodMesureQualité	Alphanumérique	5
ResponsableQ	Alphabétique	20
Mesure niveau piézométrique		
CodMesureNivPiéz	Alphanumérique	5
ResponsableP	Alphabétique	20
Ouvrage de captage		
CodODC	Alphanumérique	5
DateRéalisation	Date	8
Etat	alphabétique	10
Type	Alphabétique	50
DrasticD		
CodCoteD	Numérique	1
ValeurMinD	Numérique	4 (1décimale)
ValeurMaxD	Numérique	4 (1 décimale)
CoteP	Numérique	2
DrasticR		
CodCoteR	Numérique	1
ValeurMinR	Numérique	2
ValeurMaxR	Numérique	3
CoteR	Numérique	2
DrasticA		

## V CONCEPTION DU SYSTEME

CodCoteA	Numérique	1
ValeurA	Chaîne de caractères	100
CoteA	Numérique	2
DrasticS		
CodCoteS	Numérique	1
ValeurS	Chaîne de caractères	100
CoteS	Numérique	2
DrasticT		
CodCoteT	Numérique	1
ValeurMinT	Numérique	2
ValeurMaxT	Numérique	2
CoteT	Numérique	2
DrasticI		
CodCoteZV	Numérique	1
ValeurZV	Chaîne de caractères	100
CoteZV	Alphanumérique	2
DrasticC		
CodCoteCH	Numérique	1
ValeurMinC	Numérique	5 (décimale 2)
ValeurMaxCH	Numérique	5 (décimale2)
CoteCH	Numérique	2
Bassin versant		
CodBV	Numérique	2
Point vers nappe		
CodPVN	Alphanumérique	5
Profondeur	Numérique	4(1 décimale)
Point d'élévation		
CodPElevation	Numérique	6
élévation	Numérique	6(2 décimales)



## V CONCEPTION DU SYSTEME

### Tableau V.1 : Le dictionnaire des données

#### V.4.2 Modèle conceptuel spatio-temporel (modèle MADS) :

Comme nous l'avons déjà dit, nous avons utilisé le modèle MADS (Modèle conceptuel spatio-temporel) pour la modélisation de nos données.

MADS fournit un ensemble de types abstraits spatiaux, organisés en une hiérarchie de généralisation (Fig. V.2). A chaque type spatial est associé un ensemble de méthodes permettant de définir et manipuler les instances de ce type.

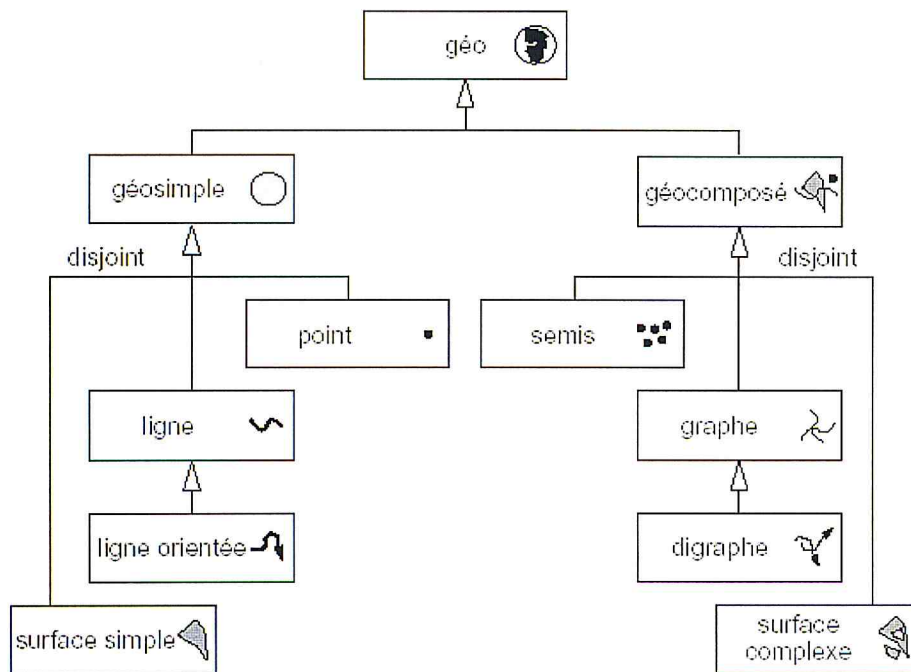
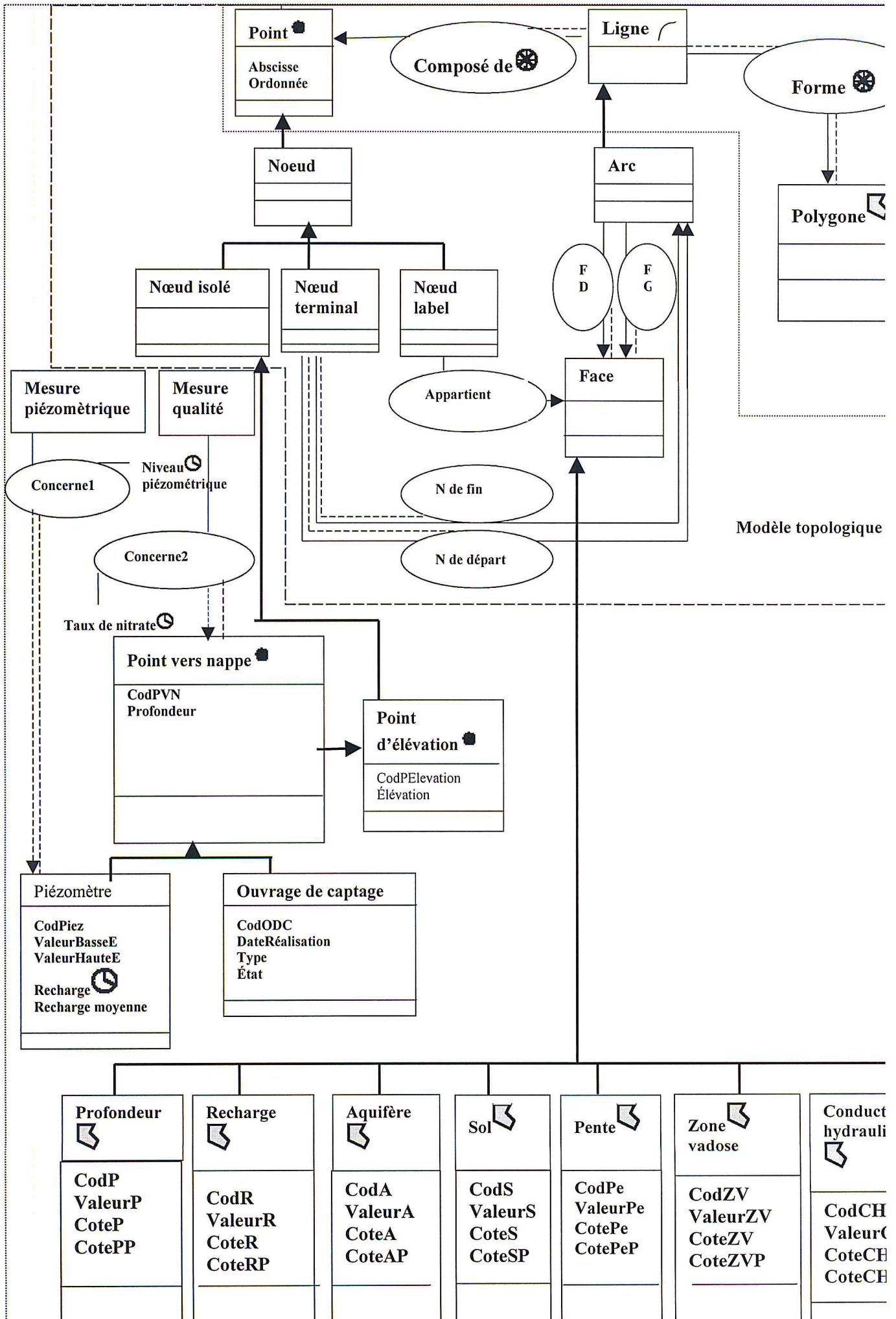


Fig. V.2 : Hiérarchie des types spatiaux dans MADS  
[PARENT & all, 1997]

La modélisation de notre application GESQEAU, est représentée par le schéma MADS décrit ci-dessous :

# V CONCEPTION DU SYSTEME



# V CONCEPTION DU SYSTEME

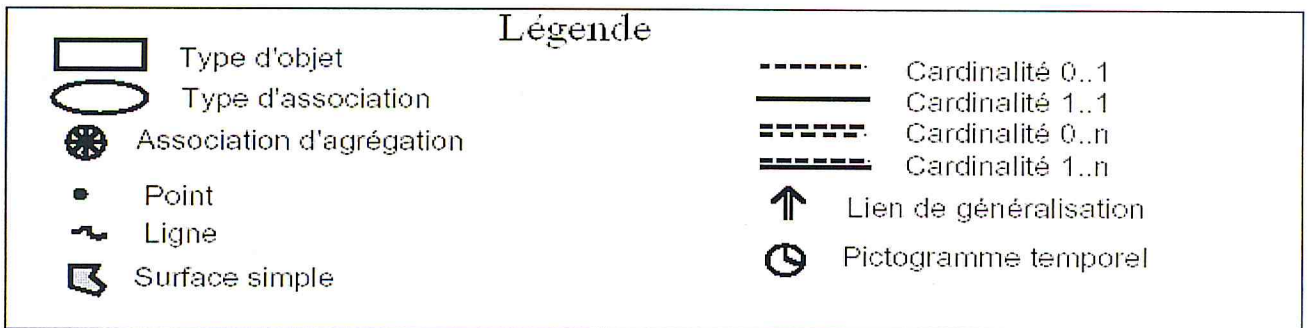
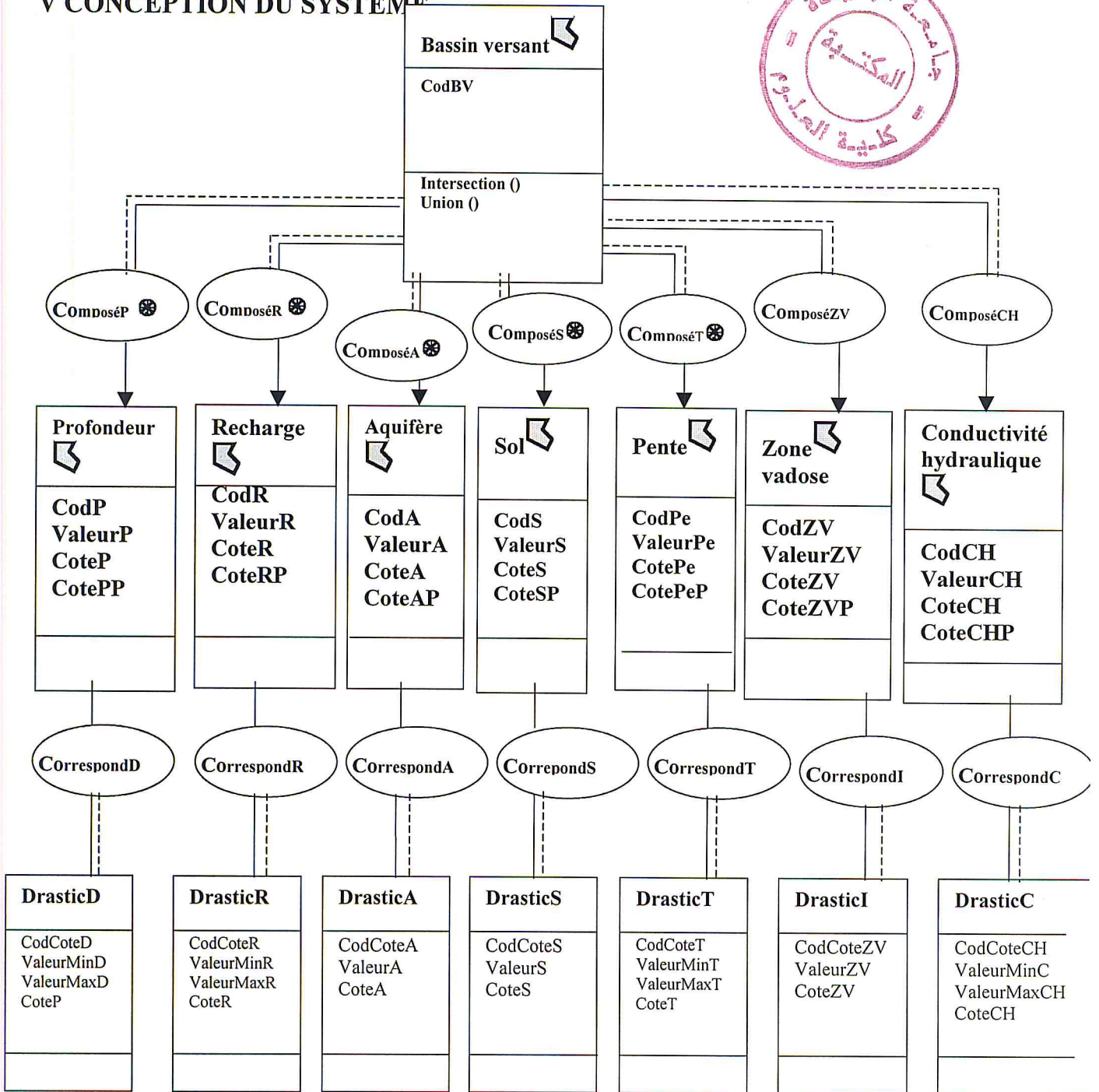


Fig. V.3 : Le modèle conceptuel spatio-temporel (MADS)

## V CONCEPTION DU SYSTEME

### Descriptif des relations :

Nom	Description	Entités liées	Attributs
Composé de	Relation de composition	Point et ligne	
Forme	Relation de composition	Ligne et polygone	
FG (face gauche)	Relation de composition	Arc et face	
FD (face droite)	Relation de composition	Arc et face	
Appartient	Relation de composition	Nœud label et face	
N de fin (Nœud de fin)	Relation de composition	Nœud terminal et arc	
N de départ (Nœud de départ)	Relation de composition	Nœud terminal et arc	
Concerne2	Concerne	Mesure qualité et point vers nappe	CodMesureQualité CodPVN Taux de nitrate
Concerne1	Concerne	Mesure piézométrie et piézomètre	CodMesureNivPiez CodPiez Niveau piézométrique
ComposeP	Composé profondeur	Bassin versant et profondeur	
ComposeR	Composé recharge	Bassin versant et recharge	
ComposeA	Composé Aquifère	Bassin versant et Aquifère Bassin versant et Sol	
ComposeS	Composé Sol	Bassin versant et topographie	
ComposeT	Composé Topographie	Bassin versant et zone vadose.	
ComposeZV	Composé Zone vadose	Bassin versant et conductivité hydraulique	
ComposeCH	Composé Conductivité hydraulique	Profondeur et DrasticD	
CorrespondD	Correspond profondeur	Recharge et DrasticR	CodP CodCoteD
CorrespondR	Correspond Recharge	Aquifère et DrasticA	CodR CodCoteR
CorrespondA	Correspond Aquifère	Sol et DrasticS	CodA CodCoteA
CorrespondS	Correspond Sol		CodS CodCoteS

## V CONCEPTION DU SYSTEME

CorrespondT	Correspond Topographie	Topographie et DrasticT Zone vadose et DrasticI	CodPe CodCoteT
CorrespondI	Correspond Zone vadose	Conductivité hydraulique et DrasticCH	CodZV CodCoteZV
CorrespondC	Correspond conductivité hydraulique		CodCH codCoteCH

Tableau V.2 : Tableau représentatif des relations

### Descriptif des traitements :

Objet	Traitement	Description
Noeud	Distance (face, point) : réel	Calcul de la distance d'un point à la surface d'une zone
Ligne	Longueur (ligne) : réel PointInLine (ligne, point) : bool	Calcul la longueur d'une ligne Test de l'intersection d'un point avec une ligne
Face	PontInPolygon (face, point) : bool Intersect (face, face) : bool Intersection (face, face) : face Clipping (face, rectangle) : face  Adjacent (face, face) : bool Surface (face) : réel	Test l'appartenance d'un point à une face Test l'intersection de deux faces Donne la face obtenue après l'intersection de deux faces Donne la zone obtenue après intersection d'une face avec un rectangle  Test l'adjacence de deux faces Calcul de la surface d'une face
Point vers nappe	Créer Abandonner, reprendre	Change d'état
Pizomètre	Créer Supprimer	
Point d'élévation	Créer Supprimer Mise à jour	
bassin	Union intersection	

Tableau V.3 : Tableau représentatif des traitements relatif aux objets

### V.5 Conception des traitements :

Il est assez important de spécifier les traitements que notre application (GESQEAU) va intégrer (acquisition, stockage, gestion, interrogation, analyse et édition), c'est l'objet de cette partie.

La mise en œuvre de notre système GESQEAU sera assurée par des fonctions qui seront structurées en modules, constituant ainsi l'ossature de ce dernier.

#### V.5.1 Les modules du système GESQEAU :

Nous distinguons cinq modules principaux, qu'on peut présenter graphiquement comme suit :

## V CONCEPTION DU SYSTEME

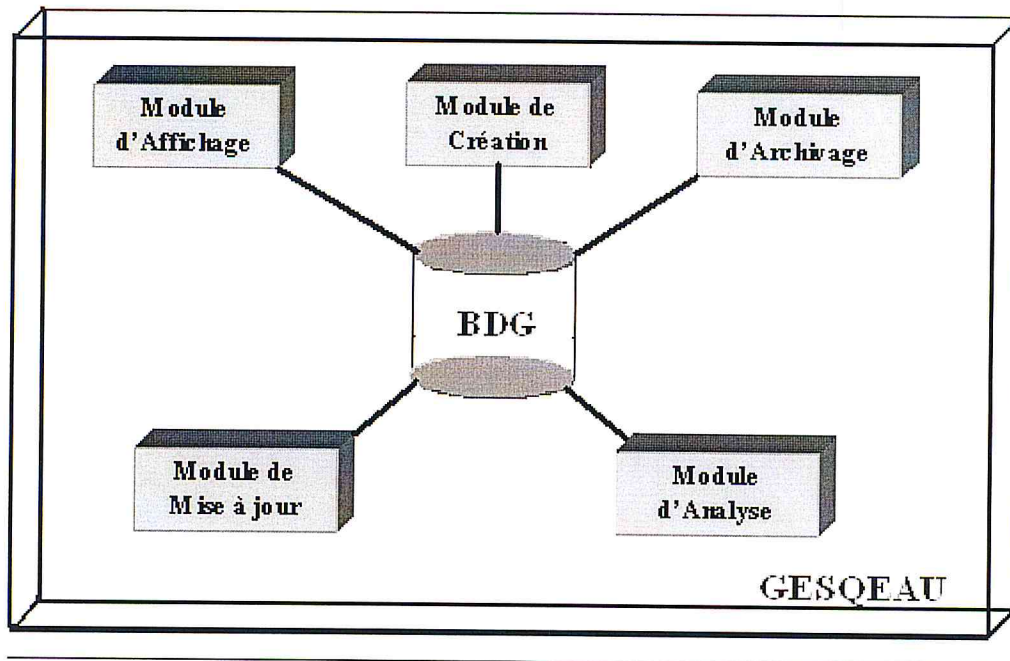


Fig. V.4 : Structure du système GESQEAU

### V.5.1.1 Module de Création : Ce module permettra entres autres :

- La création de la géométrie et de la topologie.
- La création des attributs descriptifs (saisies des données alphanumériques).
- La définition de la référence spatiale qui comprend :
  - Le système de coordonnées : il correspond au système géodésique de référence (forme de l'ellipsoïde, repère géodésique) et du type de projection.
  - Le domaine des coordonnées : il correspond à la plage maximum des coordonnées en x, y et z, ainsi qu'à la précision de stockage des coordonnées.
- L'importation de données : CAO, DAO, Shape, couverture, base de données externes : Excel, Access, oracle...
- La digitalisation et l'élaboration de dessin par l'utilisateur.

**V.5.1.2 Le module de mise à jour** : ce module permet de modifier ou de supprimer les objets géographiques et le contenu des tables ainsi créées.

**V.5.1.3 Le module d'affichage** : ce module représente l'étape de communication à l'utilisateur des résultats d'analyses sous une forme qui lui soit compréhensible, il permet la visualisation de la base de données ou une partie de

## V CONCEPTION DU SYSTEME

celle-ci. Il offre deux modes de visualisation : le premier concerne les données descriptives et le second concerne la géométrie et la topologie (graphique).

Le module d'affichage permet de consulter tous types de données qu'elles soient vectorielles, image, grille, tableau, tin... Il permet en outre d'intégrer des barres d'échelle, des légendes, des étiquettes, des diagrammes et du texte, qui peuvent servir pour la production de cartes sur papier.

**V.5.1.4 Le module d'analyse (géotraitement)** : ce module correspond au traitement des entités d'une couche vectorielle basée sur les propriétés spatiales (formes ou localisation) de ces entités. Ce module d'analyse permettra :

- De générer des zones tampons : en effet la résolution de nombreuses problématiques nécessite de connaître la proximité des entités les unes par rapport aux autres, on peut souvent y répondre en construisant des zones tampons (entités surfaciques ou polygone construites autour d'une entité ponctuelle, linéaire ou surfacique à une distance spécifiée par l'utilisateur).
- De fusionner les entités en fonction des valeurs d'un attribut : ce traitement permet d'agréger les entités d'une couche qui ont une même valeur d'attributs.
- De regrouper plusieurs couches en une seule.
- D'intersecter deux couches : ce traitement permet de générer une couche dont les entités résultent de l'intersection entre les entités de deux couches. Seules les parties des entités qui se superposent dans les deux couches sont conservées.
- D'unir deux couches : ce traitement permet de générer une couche dont les entités résultent de la réunion des entités des deux couches. Lorsque les entités des deux couches se superposent, les entités créées correspondent à l'intersection des entités des deux couches.
- De formuler des requêtes de type alphanumériques ou spatiales.

### **V.5.1.5 Module d'archivage :**

Il correspond à la sauvegarde et au stockage des données afin de garder la trace des valeurs des objets qui changent chaque période précise.

## V CONCEPTION DU SYSTEME

### V.5.2 Conception de l'interface :

L'interface utilisateur consiste à accéder aux différentes fonctions du système GESQEAU par l'intermédiaire de menus, de fenêtres et de boîtes de dialogue.

### V.5.3 La solution informatique :

Pour la réalisation de notre application, on a opté pour le logiciel Arcinfo Desktop d'ESRI (fonctionnant sous environnement Windows), qui est le premier logiciel S.I.G à avoir vu le jour et il est considéré comme une référence. En outre notre choix a été guidé par le fait qu'il est adapté aux besoins spécifiques de notre application. En effet Arcinfo est l'un des rares logiciels SIG qui permet de réaliser des opérations topologiques avancées (Outils topologiques de superposition de couches).

En outre ArcInfo supporte deux modèles de données géographiques, le modèle de données relationnel, ainsi qu'un nouveau modèle orienté objet appelé «GeoDatabase». Ce nouveau modèle de données orienté objet permet entre autre d'intégrer des règles comportementales, des propriétés et des relations entre les données, ainsi que de concevoir ses propres classes d'objets (parcelles cadastrales par exemple) et non pas des classes d'objets imposées par le système comme des points, des lignes et des polygones.

### Présentation du logiciel utilisé :

ArcInfo est un logiciel américain développé par la société ESRI ; il est actuellement le leader sur le marché. Il se compose de plusieurs modules, parmi lesquels, on peut citer :

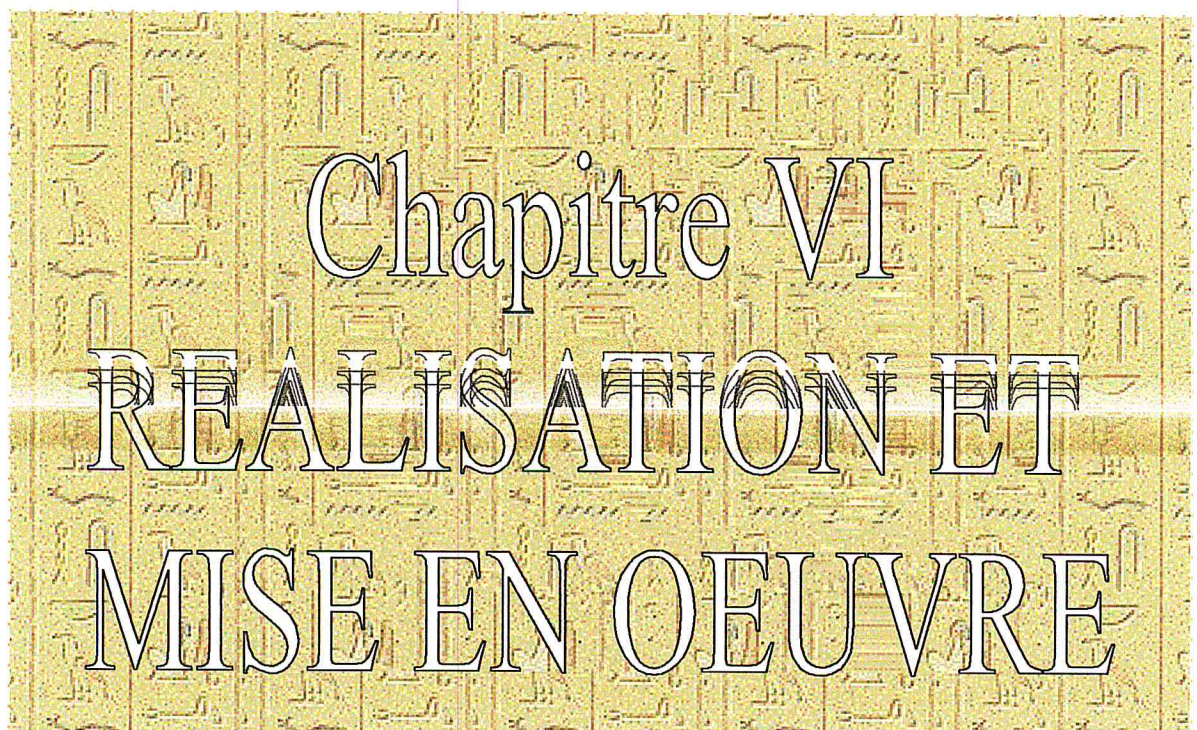
Arc : manipulation des fichiers ; traitements des couvertures ; création de la topologie. Il regroupe l'ensemble des autres modules suivants :

- **ArcCatalog** : c'est une application orientée données pour la gestion, la localisation et la navigation dans les données spatiales. Avec ArcCatalog il est possible de créer et d'administrer les bases de données spatiales.
- **ArcMap** : c'est une application orientée cartographie permettant la création, la mise à jour, l'affichage, l'édition, l'interrogation et l'analyse de toutes les données cartographiques ou géographiques.
- **ArcToolbox** : c'est une application pour la mise en œuvre de toutes les opérations de traitement géographique telles que la conversion de données, les analyses spatiales, la création de zones tampons ainsi que la transformation de cartes.



## V CONCEPTION DU SYSTEME

En outre ArcInfo intègre des fonctions de programmation de macros en Visual Basic for Applications, qui nous permettra entre autre de personnaliser et de développer notre application.



Chapitre VI  
REALISATION ET  
MISE EN OEUVRE

### **VI.1 Introduction :**

Après l'étape de conception de notre système où nous avons défini les données et leur structure ainsi que les principaux traitements à développer pour la réalisation du système, nous allons aborder dans ce chapitre la phase de réalisation qui représente la dernière phase de développement. Nous présenterons ainsi le système GESQEAU, tout en décrivant les moyens mis en œuvre pour son développement.

Les détails relatifs à la mise en œuvre et la réalisation de notre système seront donc exposés dans le présent chapitre.

### **VI.2 La base de données géographiques :**

Notre base de données sera constituée de l'information géographique, ainsi que des données sémantiques associées.

Vu le besoin de notre application, nous avons défini deux principaux ensembles de couches, qu'on peut détailler comme suit :

- **Couches vectorielles** : notre base de données intégrera les couches vectorielles suivantes :
  1. Couche de la profondeur de la nappe.
  2. Couche de la recharge nette.
  3. Couche type d'aquifère.
  4. Couche type de sol.
  5. Couche topographie (les pentes).
  6. Couche d'impact de la zone vadose.
  7. Couche de la conductivité hydraulique.

La superposition de ces sept couches paramétriques nous permettra de réaliser la carte de vulnérabilité de la nappe souterraine.

#### **couche qualité :**

La couche qualité représente les mesures et contrôles des substances chimiques ou organiques prélevées à partir de la nappe (mesures ponctuelles de nitrates à partir des puits et forages). En effet, les nitrates constituent un indicateur de contamination en milieu agricole témoignant de l'impact des sources de

## VI REALISATION

contamination diffuses par les fertilisants. La carte des concentrations en nitrates constitue un des éléments d'information à prendre en considération lors de l'évaluation de la vulnérabilité des ressources en eaux souterraines.

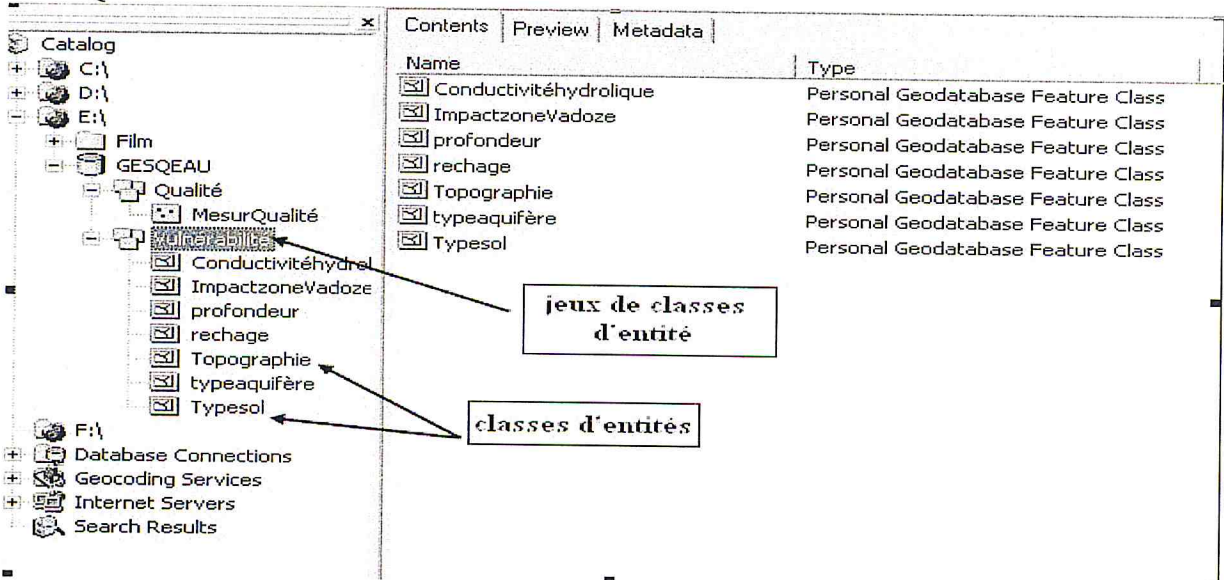
- **Couche Raster** : cette couche sera représentée par une image satellitaire d'occupation du sol, ce qui nous permettra de mieux cerner l'activité agricole exercée dans la zone étudiée (Mitidja centrale). Cette couche sera considérée comme une source de pollution potentielle.

### VI.2.1 Constitution de la base de données géographique (Géodatabase):

Notre base de données contient des données tabulaires, des données spatiales, ainsi que des informations permettant de gérer ces données (relation, référence spatiale...).

Cette base de données sera structurée en un ensemble de classe d'entités, où chaque classe d'entités représente un ensemble homogène d'entités possédant une même géométrie (polyligne, polygone, point) et les même attributs. Ces attributs sont stockés dans la table attributaire de la classe d'entités.

Toutes les classes qui composent le jeu de classe GESQEAU sont stockées avec la même référence spatiale (système de projection). La figure ci-dessous montre un exemple de jeux de classes et de classes de la base de données GESQEAU :



**Fig. VI.1** jeux de classes d'entité et classes d'entités de la base de données GESQEAU

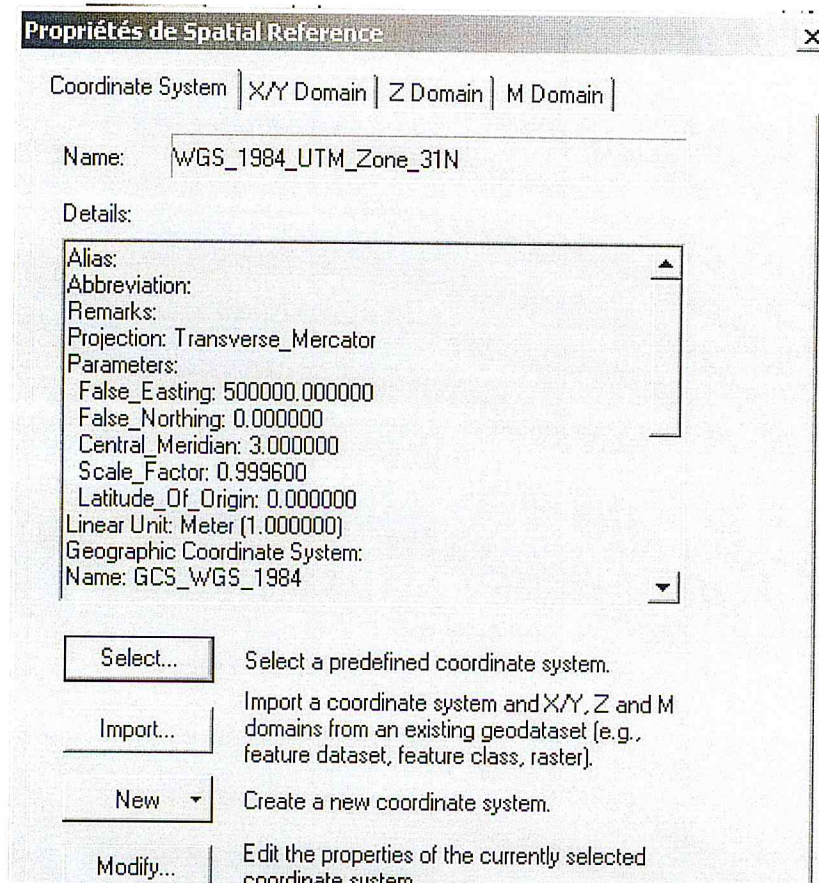
## VI REALISATION

### VI.2.1.1 La référence spatiale :

A la création d'un jeu de classe d'entité, ArcCatalog propose la sélection d'une référence spatiale (systèmes géodésique + système de projection) ; en effet sur le globe terrestre les positions géographiques sont mesurées en degrés de longitude et de latitude. Sur une carte elles sont mesurées à l'aide de coordonnées X et Y. Une projection permet de passer des coordonnées sphériques aux coordonnées planaires.

Arc catalog propose une multitude de systèmes de références spatiales. Pour notre application, on a choisi la projection UTM, car c'est celle qui s'adapte le mieux pour l'Algérie. Les coordonnées exactes de notre zone peuvent être représentées comme suit :

X UTM31= 473011.26	X UTM31=504009.01
Y UTM31= 4043610.11	Y UTM31= 4043514.17
X UTM31= 473029.98	X UTM31= 504055.08
Y UTM31= 4049609.68	Y UTM31= 4058512.87



**Fig. VI.2. Définition de la référence spatiale**

### VI.2.1.2 La topologie :

Les entités d'une même classe peuvent avoir des relations topologiques, pour cela il suffit qu'il y ait une coïncidence spatiale parfaite entre les entités :

- Pour les lignes : être correctement connectées en leurs extrémités.
- Pour les polygones : être strictement adjacents sans espace vide ni superposition entre les entités.

Des relations topologiques peuvent exister entre des entités de différentes classes.

### VI.2.2 Intégration de l'image satellitaire :

L'image satellitaire d'occupation du sol (zones agricoles utiles) a été réalisée en collaboration avec l'Institut National de Cartographie et de Télédétection (INCT). Elle représente l'activité agricole exercée dans la région, considérée comme une source de pollution potentielle. Cette image satellitaire de l'activité agricole dans la région (carte d'inventaire des sources de pollution) superposée à la carte de vulnérabilité, nous donnera un aperçu sur les sites sensibles aux risques de pollution des eaux souterraines.

Aujourd'hui, les nouvelles technologies nous offrent la possibilité d'étudier les territoires de manière très rapide et très fiable grâce à l'imagerie satellitaire.

En effet, la télédétection est de plus en plus présente car elle fournit une source directe d'informations sur les états de surface, la reconnaissance des cultures et la production de statistiques.

Notre image satellitaire a été réalisée à partir de pourcentages des différentes cultures par commune, que nous avons acquis grâce à la Direction du Service de l'agriculture (DSA). Par exemple la commune de BIRTOUTA regroupe l'ensemble des cultures suivantes :

Superficie de la commune= 2719,17 Ha

points = 900 m<sup>2</sup> ou 0.09 Ha.

**Class:** Arboriculture-1

**Size:** Arboriculture-1 (3501 points) (11.59%)

**Class:** Maraichage-2

**Size:** Maraichage-2 (7483 points) (24.77%)

**Class:** cerealiculture-3

**Size:** cerealiculture-3 (7494 points) (24.80%)

**Class :**

**Size:** Jachere-sol-nu-en repos-4 (7660 points) (25.35%)

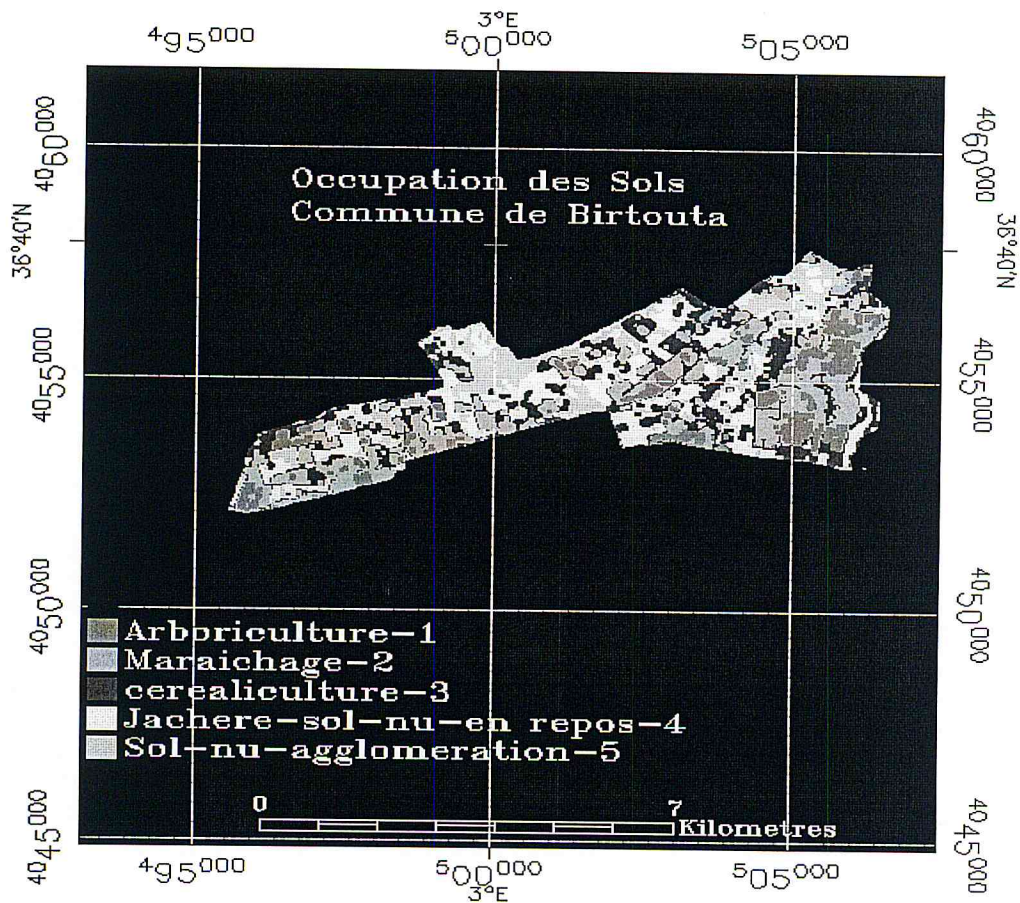
**Class:** Sol-nu-agglomeration-5

## VI REALISATION

Size: Sol-nu-agglomeration-5 (4075 points) (13.49%)

La même opération a été renouvelée, pour les communes de Boufarik, Chebli et Oued\_el-alleug.

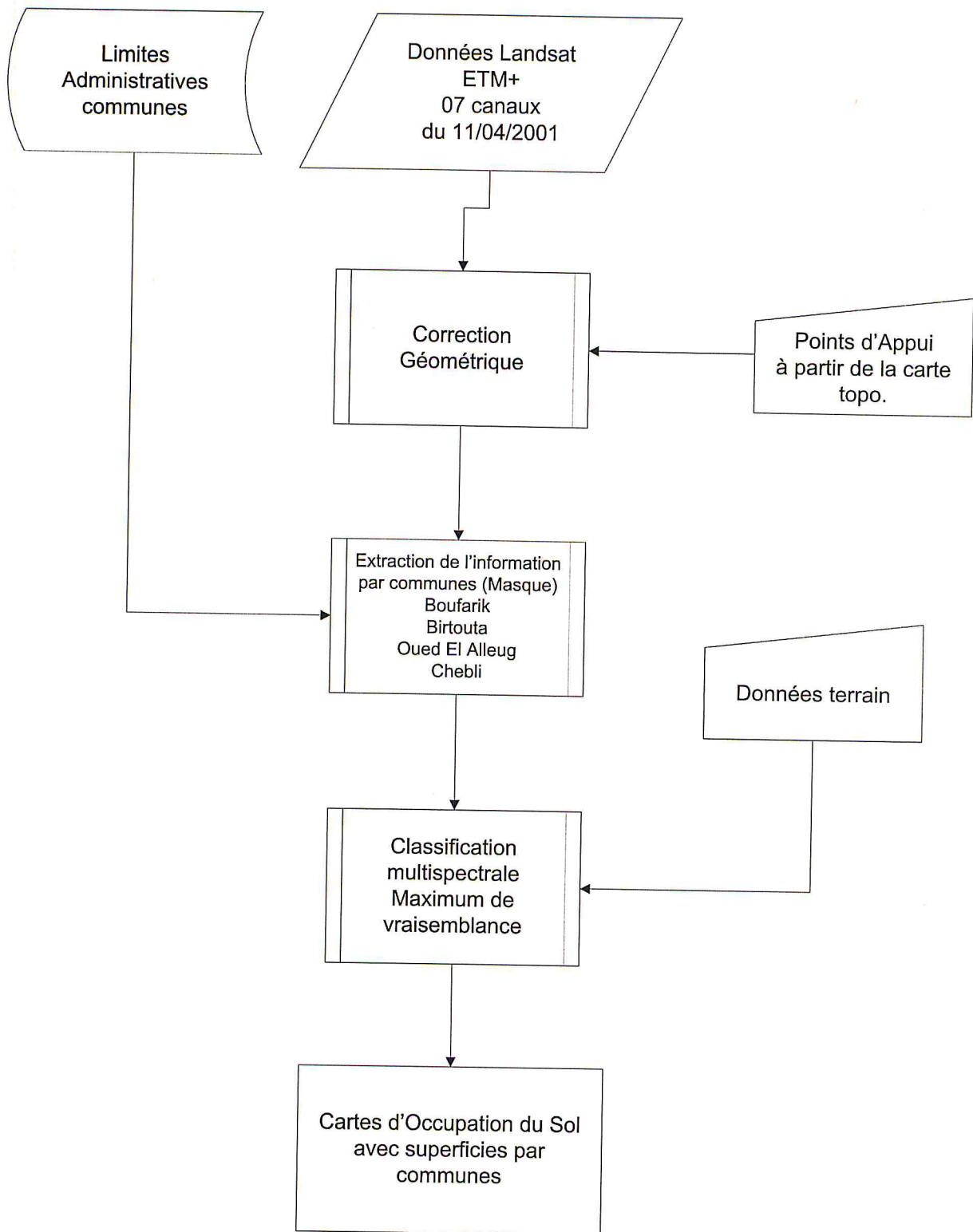
Après traitement, ont obtient l'image satellitaire suivante :



**Fig. VI.3** Image satellitaire d'occupation de sol de la commune de Birtouta

Les étapes et la méthodologie adoptée pour l'interprétation de l'image satellitaire sont représentées par l'organigramme (Figure VI.4) suivant :

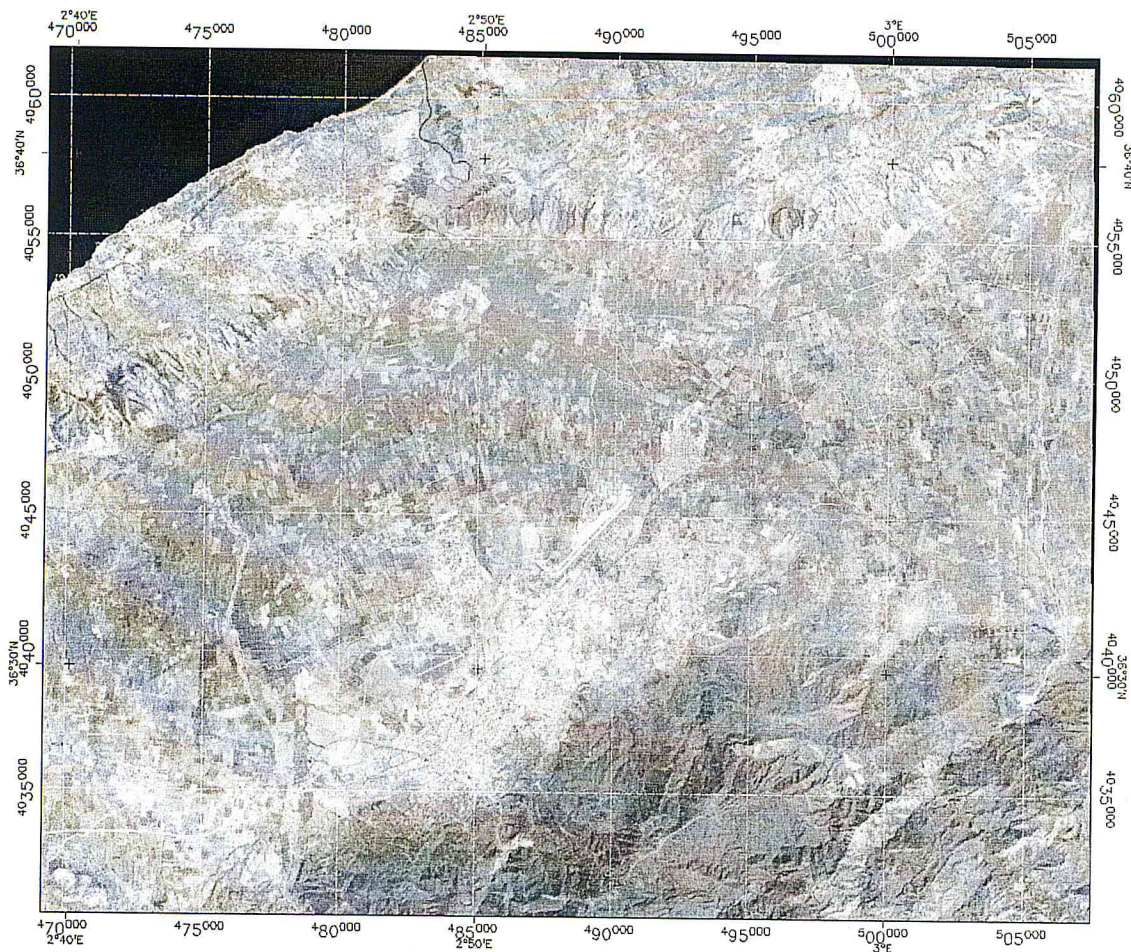
## VI REALISATION



Organigramme de la méthodologie adoptée pour l'établissement de l'occupation du sol par télédétection (Landsat 7 ETM+ du 11/04/2001)

L'image satellitaire qui délimite toute la Mitidja centrale (zone d'étude) est représentée par la figure suivante :





**Fig. VI.5 :** Image satellitaire représentant la vue totale de la Mitidja centrale

Afin d'afficher les couches vectorielles et la couche image, il faut établir une transformation image monde qui permet de convertir les coordonnées de l'image en coordonnées géographiques.

Notre format d'image est TIFF, ce format stock les informations de géoréférencement dans un fichier ASCII distinct (il n'est pas stocké dans l'image), ce fichier est appelé fichier de géoréférencement et il contient les informations de transformation en coordonnées réelles utilisées par l'image.

En général, les fichiers de géoréférencements utilisent le même nom que le fichier d'image, avec en plus un 'W' à la fin.

Afin de définir les paramètres de géoréférencements, il faut exécuter la commande *outils->personnaliser* puis sélectionner l'option *géoréférencement*.

## VI REALISATION

---

La procédure de géoréférencement consiste généralement à indiquer un certain nombre de points de calage. Un point de calage est un point qu'on localise sur l'image non géoréférencée et pour lequel on connaît les coordonnées géographiques. Ces coordonnées peuvent être saisies manuellement ou en localisant le point correspondant sur une couche déjà géoréférencée. Avec un minimum de 4 points de calage, une fonction de transformation peut être calculée.

La saisie des points de calage se fait en cliquant chaque point sur l'image à géoréférencer puis en définissant les coordonnées du point correspondant dans le système de projection souhaité. Pour définir ces coordonnées, on peut cliquer le point correspondant sur la couche déjà géoréférencée ou saisir ses coordonnées manuellement en appelant la commande Entrée X et Y à partir du menu contextuel. Les points de calage ainsi définis peuvent être supprimés ou modifiés.

Avant de valider le géoréférencement de notre image, on doit vérifier l'erreur moyenne de calage sur chacun des points de calage.

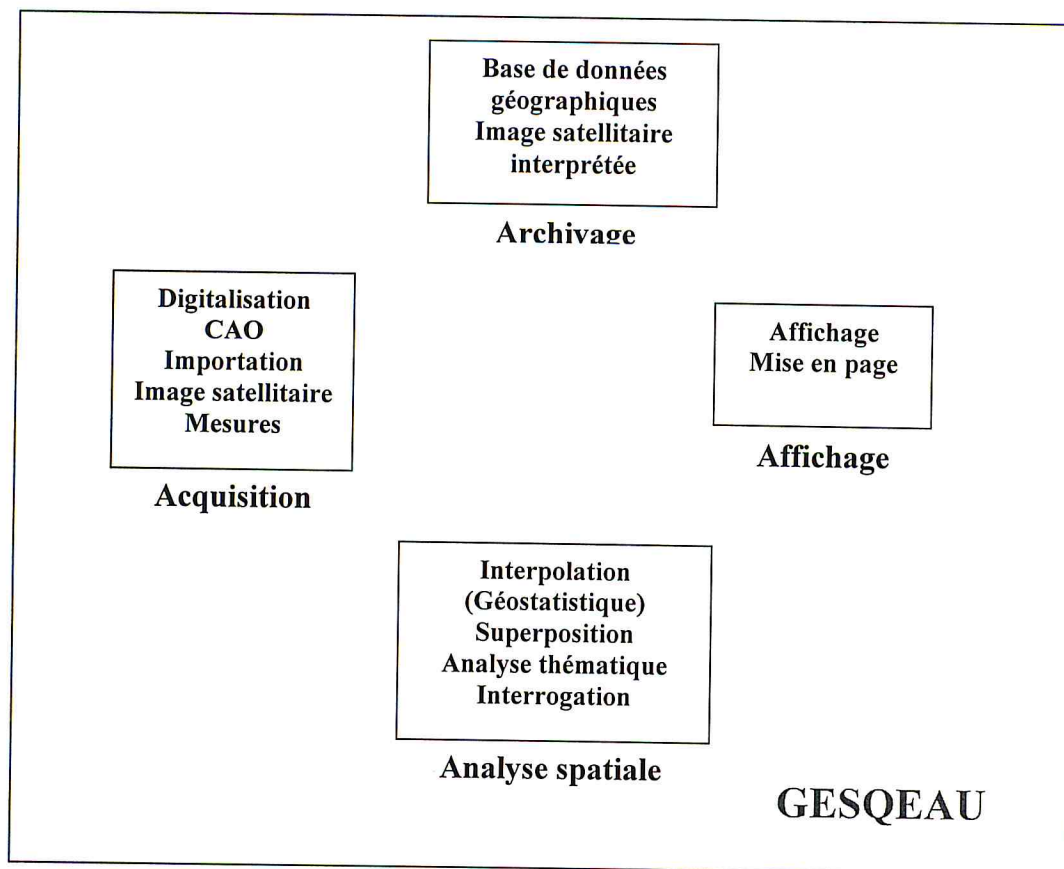
On peut stocker les points de calage dans un fichier ASCII (\*.Txt), afin de pouvoir les réutiliser pour d'autres calages. La commande *Géoréférencement >mettre à jour le Géoréférencement* permet de créer le fichier de géoréférencement.

Afin de définir la référence spatiale de notre image satellitaire, on doit afficher les propriétés de la source de données à partir d'ArcCatalog. Le bouton *Modifier* de l'onglet *référence spatiale* permet de définir ou de modifier les caractéristiques du système de coordonnées de l'image raster (système géodésique et système de projection).

Dès qu'on a spécifié la référence spatiale, un fichier auxiliaire (\*.aux) est créé. Ce fichier est un fichier qui accompagne l'image et qui est situé dans le même répertoire que celle-ci. Il contient les informations annexes qui ne peuvent être stockées dans l'image (table de couleur, statistiques, références spatiales et les informations de géoréférencement).

### VI.3 Les modules :

Nous détaillons dans ce qui suit les modules du système GESQEAU, ainsi que leur manipulation :



**Fig. VI.6 : Composant du système**

Les services proposés par notre système, comprennent :

**L'opération de création** : Le système GESQRAU permet :

- L'intégration des données géométriques et données attributaires ; en effet l'utilisateur a la possibilité de saisir la géométrie, de définir la tolérance topologique, afin d'éliminer au cours de la superposition d'entités les espaces vides liés aux erreurs de digitalisation et de dessin comme démontré dans la figure VI.7.
- La saisie des données attributaires (données alphanumériques) ainsi que de réaliser une liaison entre les données attributaires et données géométriques dans la mesure où elles ne sont pas directement intégrées en tant que fichier géographique (classe d'entités).
- La réalisation de mise à jour, en affichant des couches existantes et en utilisant les outils de dessin et de construction pour changer la forme des

## VI REALISATION

entités ou leur emplacement ainsi que la mise à jour des entités attributaires.

### L'opération d'Analyse (Géotraitement) :

En effet ce système permettra à l'utilisateur de réaliser des opérations d'analyse spatiale, interpolation de données ponctuelles telles que les mesures de qualité (taux de nitrates) et la superposition de couches paramétriques (DRASTIC) pour l'obtention de la carte de vulnérabilité de la nappe souterraine à la pollution.

### L'opération de Mise en page :

En effet l'utilisateur aura la possibilité de construire des mises en page pour des sorties sur écran ou sur table traçante, avec intégration de grille d'échelle de barre de nord et de légendes.

### VI.3.1 Module de création : (Construction et intégration de la base de données géographique) :

L'utilisateur doit ouvrir une table ou une classe d'entités, afin de pouvoir saisir les données tabulaires et la géométrie.

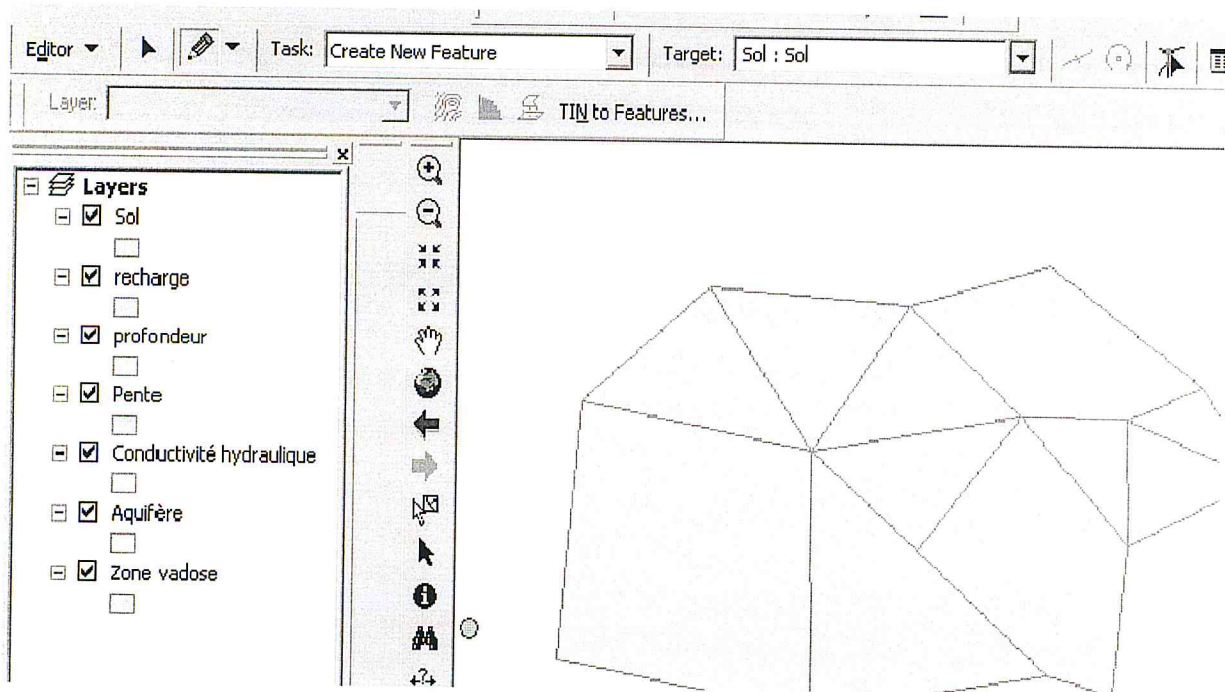


Fig. VI.7 : Saisie des données géométrique

## VI REALISATION

---

Pour l'opération d'édition de la géométrie, l'utilisateur ouvre une classe d'entités et sélectionne la tâche qu'il veut faire (création de formes nouvelles, terminaison automatique de polygone...etc.).

L'utilisateur doit définir la tolérance topologique (notion de points coïncidents) qui représente la taille en points pour que deux points se trouvant dans ce périmètre soient considérés comme un point coïncident.

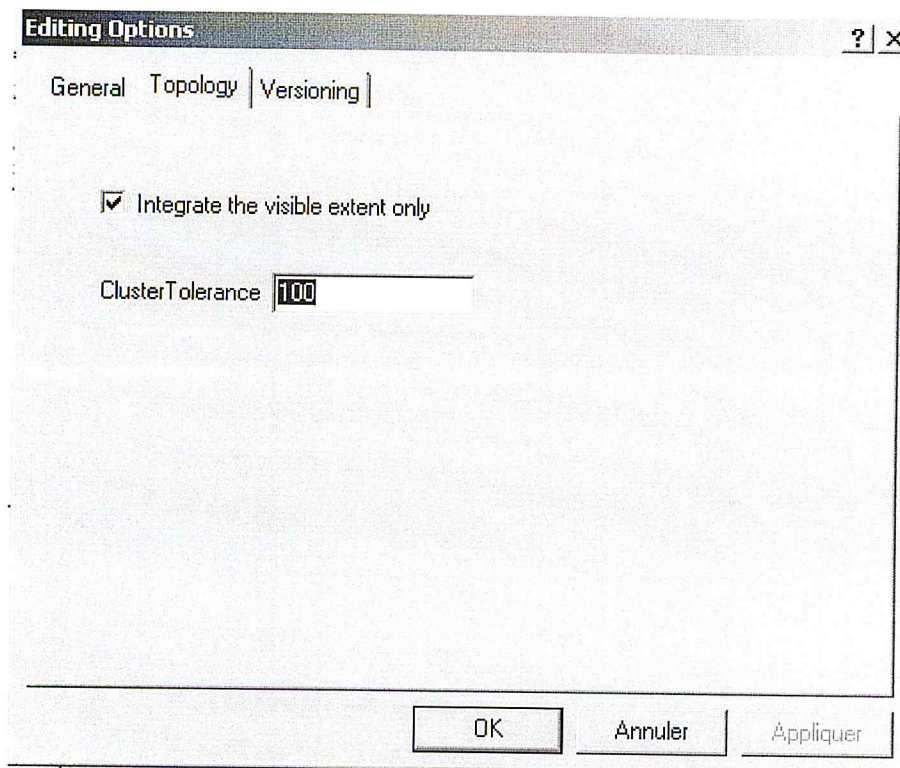


Fig. V1.8 : Définition de la zone de tolérance (points coïncidents)

Par la suite, l'utilisateur pourra saisir les données alphanumériques associées à la géométrie préalablement saisie. Il peut également commencer par les données attributaires avant de dessiner la géométrie.

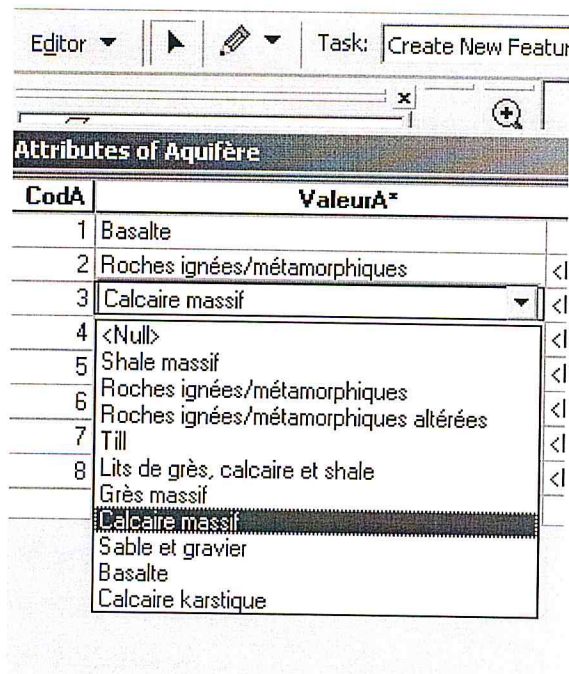


Fig. VI.9 : Saisie des données attributaires.

### Autre méthodes d'intégration de données :

L'utilisateur a la possibilité d'intégrer des fichiers CAO aux extensions .DXF, .DXG et .DGN, ces fichiers qui mélangent des points, des lignes, des polygones, et des annotations sont transformés en tant que jeu de classe d'entités (qui regroupent plusieurs classes d'entités avec une géométrie différente) ; ces fichiers subissent une transformation des coordonnées dessin vers les coordonnées cartographiques (UTM, Lambert) : c'est le géoréférencement. Les Fichiers CAO peuvent ainsi être interrogés, affichés, analysés ; dans le cas où on veut les mettre à jour il faudra les transformer en géodatabases.

Il est possible de convertir des fichiers issus d'autres SGBD géographiques vers les géodatabases.

### **VI.3.2 Module de mise à jour :**

L'utilisateur pourra ouvrir une table ou un classe existante pour une mise à jour ou pour une suppression ; il aura à sa disposition les outils d'édition et de construction pour transformer la géométrie des entités géographiques.

L'utilisateur devra choisir sur quelle couche faire des transformations ou des mises à jour, avec la barre d'outils éditer ; il aura à disposition toutes les fonctions de suppression, création, modification.

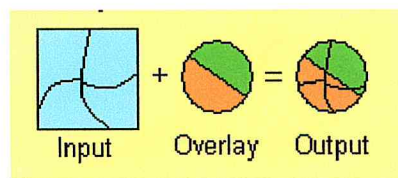
### VI.3.3 Module d'analyse spatiale :

Après édition des couches paramétriques, le système permettra un traitement qui consiste en la superposition des sept couches. L'intersection des sept couches paramétriques permet de générer une nouvelle donnée issue d'un traitement spatiale ; cette donnée qui est l'indice global de vulnérabilité sera affectée à chaque zone résultante de l'intersection, avec une analyse thématique qui classe la vulnérabilité de la zone la moins vulnérable vers la plus vulnérable : on aura une carte de vulnérabilité.

#### L'intersection et la fusion :

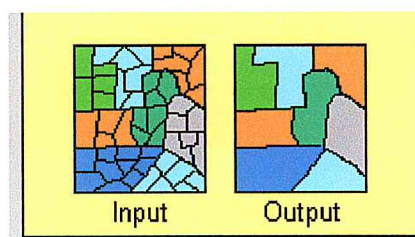
Ces deux traitements d'analyse spatiale sont exploités dans notre application afin de générer des cartes de vulnérabilité :

L'intersection permet de générer une couche dont les entités résultent de l'intersection entre les entités des couches sources ; seules les parties des entités qui se superposent dans toutes les couches sont conservées.



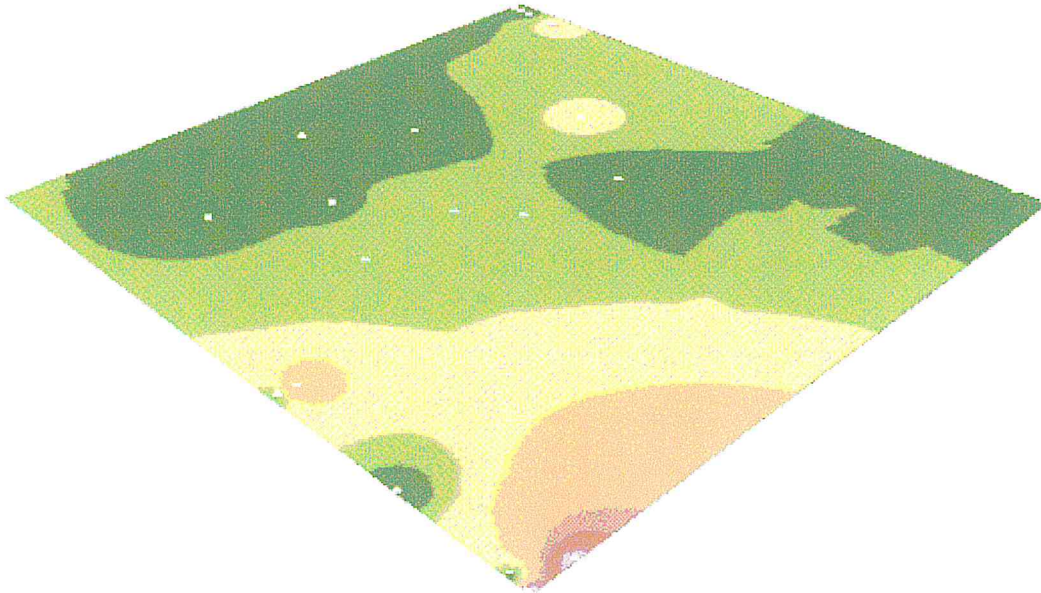
**Fig. VI.10 : Schéma représentant l'intersection**

La fusion est un géotraitement qui fait agréger les entités d'une couche qui ont une même valeur d'attribut.



**Fig. VI.11 : Schéma représentant la fusion**

La mesure de qualité faite sur les ouvrages de captage qui représente des données ponctuelles, peut faire l'objet d'une interpolation en utilisant l'une des méthodes fournies par le module ARCScene d'ARCGis.



**Fig. VI.12 : Raster constitué par interpolation de mesures ponctuelles**

### **VI.3.4 Module d’affichage et de mise en page :**

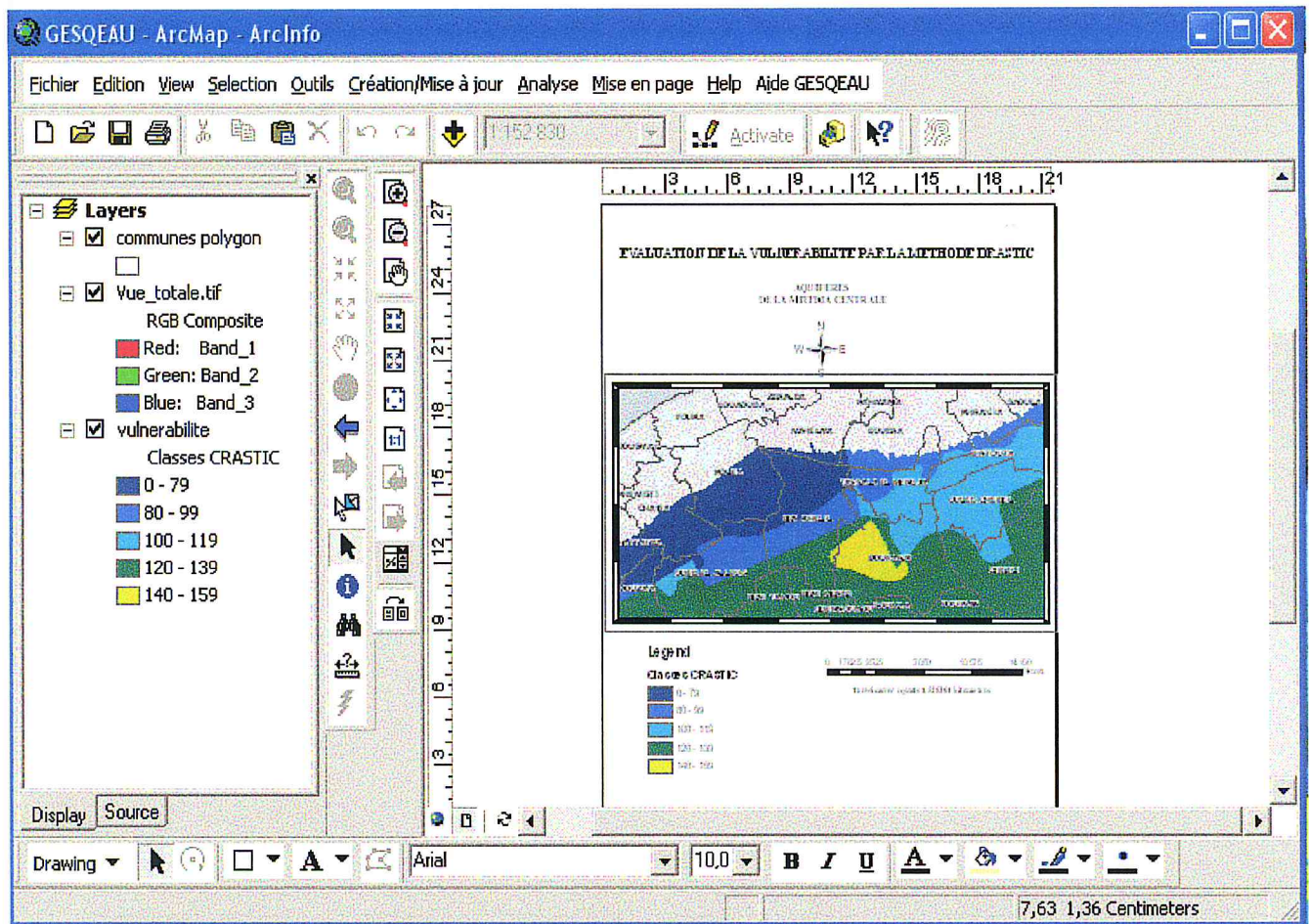
L’outil ARCMAP offre une multitude d’option pour l’affichage ; par défaut les couches sont affichées dans l’ordre dans lequel elles sont dans la table des matières ; toutefois, il permet une gestion avancée de leur affichage à travers le menu contextuel du bloc de données. Ces options permettent non seulement de définir l’ordre d’affichage mais aussi de définir des règles d’affichage des intersections des symboles linéaires et surfaciques.

Différents éléments peuvent être placés dans une mise en page (bloc de données (couches), légendes, barres d’échelle, textes d’échelle, flèches de nord, des textes, graphiques des images) offrant ainsi un outil de description et de pédagogie très complet.

### **VI.4 L’interface utilisateur :**

Notre interface est une personnalisation de l’interface d’Arcmap qui permet d’accéder aux différentes fonctions du système GESQEAU par l’intermédiaire de menus, de fenêtres et de boites de dialogue, comme le démontrent les figures suivantes :





**Fig. VI.13 : Capture d'écran de l'interface GESQEAU**

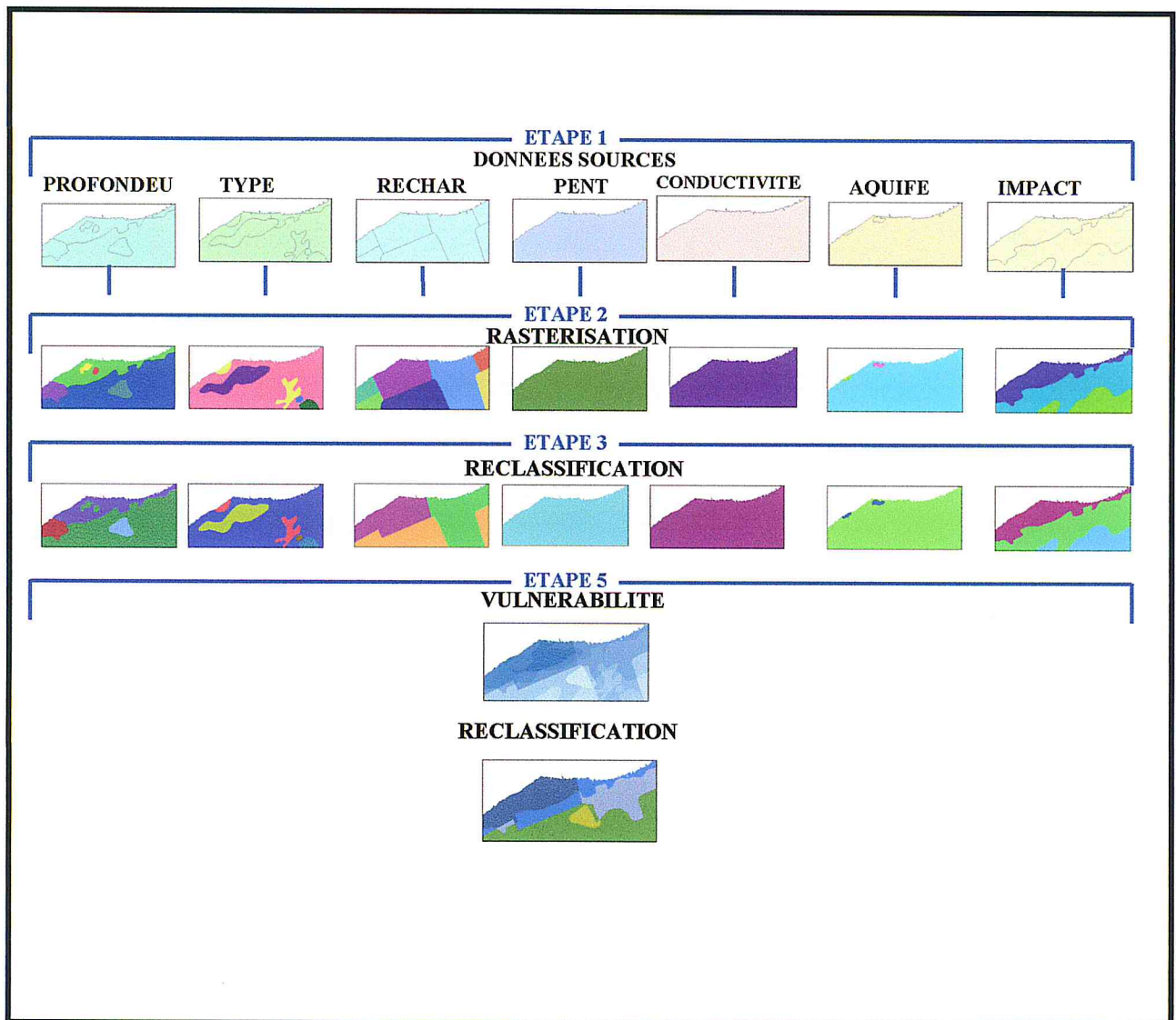
## **Recommandation :**

Pour une utilisation ultérieure efficace de notre système, une implication réelle des utilisateurs est indispensable pour son amélioration, car seul un spécialiste du domaine pourra penser à tous les traitements et requêtes nécessaires.

### VI.5 Les étapes de la construction de la carte de vulnérabilité :

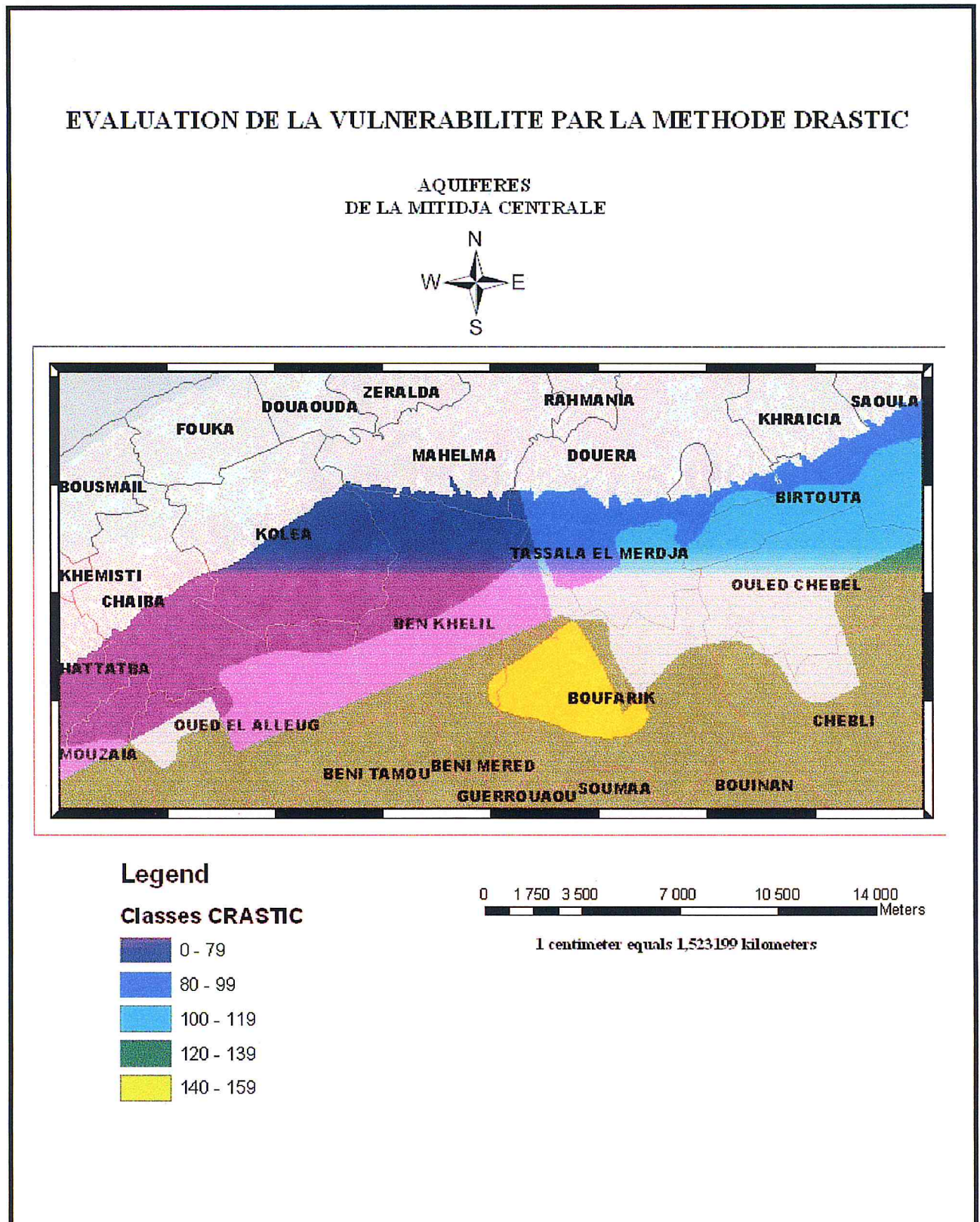
Les données dérivées telles que les cartes paramétrique DRASTIC ont été générées grâce à l'analyse spatiale. Les RASTER ainsi créés ont pu être transformé encore un fois en données RASTER représentant non plus la valeur de l'attribut en chaque point, mais la valeur numérique attribuée par la méthode DRASTIC à la valeur du paramètre : c'est l'étape de **reclassification**.

Ceci nous a permis de mettre les valeurs des sept paramètres sur la même échelle et les combinés en leur attribuant leurs poids respectifs, nous obtenant ainsi la carte de vulnérabilité de la nappe souterraine à la pollution, elle même reclassifier selon les zones de plus faibles vulnérabilité au plus élevées, comme le démontre le **Figure IV.14** ci-dessous.



## VI REALISATION

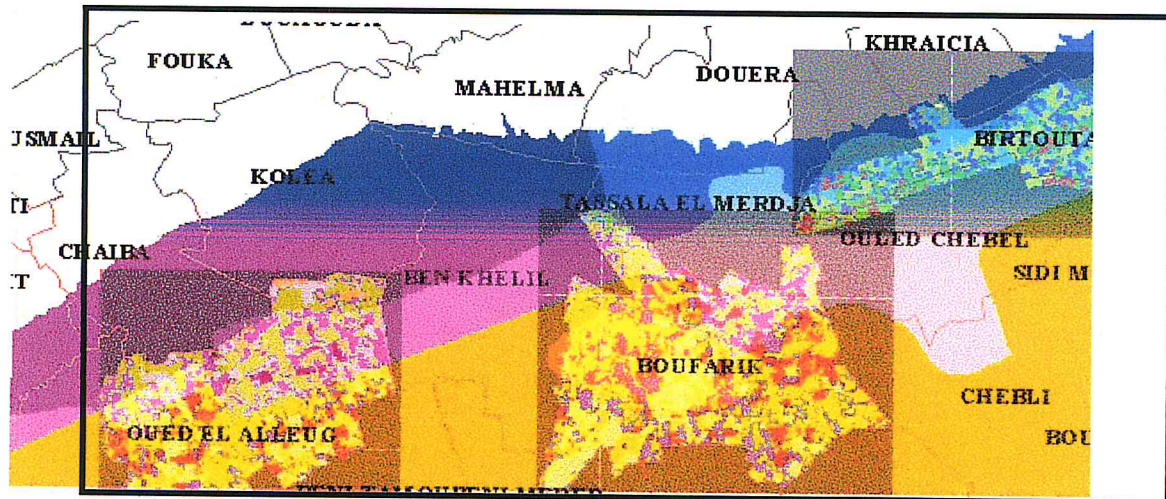
La carte de vulnérabilité ainsi obtenue est représentée par la figure suivante :



**Fig. VI.15 : Carte de vulnérabilité par la méthode DRASTIC de la Mitidja centrale**

### VI.6 Carte des risques de pollution :

La couche qui représente l'activité agricole exercée dans la région (considérée comme une source de pollution potentielle) superposée à la carte de vulnérabilité ainsi obtenue, nous donnera un aperçu sur les sites sensibles aux risques de pollution des eaux souterraines.



**Fig. VI.16 : Carte des risques de pollution**

### VI.7 La carte de concentration de nitrates :

La carte de contamination par les nitrates est réalisée en exploitant la base de données vectorielle source (les tables de mesure de teneur en nitrates). En sélectionnant les mesures faites sur une année donnée et après une jointure avec les ouvrages de captage et piézomètres respectifs, une carte vectorielle de concentration de nitrates est ainsi obtenue d'après un échantillon prélevé à partir de la zone d'étude. L'opération d'interpolation des données nous permettra d'obtenir la carte des concentration de nitrate sur l'année choisit.

L'utilisateur a par la suite la possibilité de faire des mise en page, soit pour une représentation des données sur écran ou pour une sortie sur support papier, il pourra facilement intégré dans les cartes qu'il souhaite diffusées des informations telles que le titre, la légende, l'échelle etc.

La carte de concentration des nitrates ainsi obtenue est représentée par la figure suivante :

---

*« Si on croit être arrivé, c'est qu'on avait pas  
l'intention d'aller plus loin. »*

*Claude chabrol*

---

## CONCLUSION GENARALE ET PERSPECTIVES

De nos jours, plusieurs types d'organisations tels les administrations, les agences d'environnement, les compagnies pétrolières, les banques, le cadastre ..., ne peuvent plus se passer des SIG tant les possibilités et l'apport offerts par ces derniers n'est plus à démontrer.

Notre travail qui introduit les techniques des SIG au sein de l'ANRH constitue une solution efficace ; en effet le SIG est un outil intelligent et interactif qui permet de comprendre les phénomènes donc prévoir les risques. La structuration de ces données dans un Systèmes d'Information Géographique (SIG) permet de les combiner avec des données d'autres natures (données sur l'environnement, d'occupation des sols, économiques...) et de produire automatiquement des cartes thématiques très utiles à la prise de décision par les responsables de la gestion de l'eau.

Au terme de notre travail et de nos recherches, nous avons abouti à la réalisation d'un prototype pour la gestion de la qualité de l'eau et pour la prévention contre les risques de pollutions de la nappe souterraine, qui constitue dans bien des cas, la ressource principale d'approvisionnement en eau potable dans notre pays.

Sur la base des informations que nous avons collectées et notre application GESQEAU, les décideurs de l'ANRH pourront répondre à une question très importante relative à une meilleure politique de gestion, d'aménagement et de planification dans une région donnée.

Malgré l'apport considérable que représente actuellement l'utilisation des SIG, nous avons rencontré quelques problèmes liés essentiellement au recueil des données ; en effet cette opération était assez fastidieuse à cause notamment d'un manque de cartes géographiques ou de leur vétusté. Cela induit forcément à une modélisation erronée du monde réel.

Ce projet de recherche nous a conduit à ouvrir des horizons pour des perspectives et des pistes de développement futur à envisager :

Développer une interface WEB sous HTML et les langages de scripts tels que VB SCRIPT.

- afin d'améliorer l'ergonomie de l'interface.

- Liens hypertextes et hypercartes.
  - Un support multimodale (image, son, textes...).
  - Pas de soucis d'installation et d'adaptation pour l'utilisateur (l'utilisateur se trouvera devant un navigateur qui lui est familier).
- 
- Possibilité d'interroger la base de données à distance.
  - Possibilité de diffuser de l'information au plus grand nombre.
  - Acquisition sécurisée de données de sources différentes et éloignées (cas d'organismes différents).

**BIBLIOGRAPHIE**

- ANONYME, 1998, « ARC VIEW », manuel de formation.**
- Avant-projet de rapport, 2000, « L'eau en Algérie : le grand défi de demain », Conseil National Economique et Sociale, Commission de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement.**
- BOUTIDJILINE A., TLILI M., 2000, « Conception et réalisation d'un outil d'aide à l'évaluation et la classification des terres agricoles », Mémoire d'ingénieur d'état en informatique, INI, Oued-Smar, Alger.**
- BRUNET R., 1987, « La carte mode d'emploi », Edition Fayard-Reclus, 270 P.**
- COOTE D-R., GREGORICH L-J., 2000, « Santé de l'eau, vers une agriculture durable au canada », Direction générale de la recherche Agriculture et Agroalimentaire Canada, Ottawa (Ontario), 200p.**
- CRISMENT C., ZURFLUH H., 1996, « Bases de données », encyclopédie technique de l'ingénieur, traité informatique, pp 800-2 à 800-6.**
- DAO H., 2003, « Système d'information géographique, notes de cours », Département de géographie, Université de Genève.**
- DIDIER M., 1990, « Utilité et valeur de l'information géographique », Etude du CNIG, Edition ECONOMICA, 256 p.**
- DJEZZAR F.Z, BENAMARA F., 1999, « conception et réalisation d'un système d'aide à la décision pour la gestion des ressources naturelles », mémoire d'ingénieur d'état en informatique, université des sciences et technologie Houari Boumediene.**
- GASCUEL C., 2001, « Pollution de l'eau par les nitrates : le temps de réponse des nappes », Article, presse info, Institut National de la Recherche Agronomique, paris.**
- GILLIOT J-M., 2000, « Introduction aux SIG », département AGER, institut national ergonomique, Paris-Orignon.**
- HABERT E., 2000, « Qu'est ce qu'un système d'information géographique ? », Institut de recherche pour le développement (IRD), Laboratoire de cartographie appliquée.**



**KAYADJANIAN M., 2000, « Système d'information géographique », CESD, Luxembourg.**

**LADLI S., SADAT M., 1998, « Etat de la pollution des eaux souterraines par les nitrates dans la région de Boufarik et périmètre de protection des sept forages appartenant à Boufarik », Mémoire de fin d'étude (D.E.U.A), centre universitaire de Khmis-Miliana, département d'hydrogéologie.**

**LAURINI R., 1996, « Bases de données géographiques », encyclopédie, Technique de l'ingénieur, traité informatique, pp 758-1 à 758-8.**

**MARGAT J., 1968, « Vulnérabilité des nappes d'eau souterraines à la pollution Base de sa cartographie », Rapport, Bur. Rech. Géol. Minière.**

**MARMONIER P., 2002, « L'information géographique », école national des science géographique (ENSG)- CERSIG, champs sur marne.**

**MASSCHELEIN J., 1992, « Processus unitaires de traitement de l'eau potable », Edition Cebedoc, Paris.**

**MONOD J., 1989, « Mémento techniques de l'eau, Tome 1 », technique et documentation, copyright Degrement, Lavoisier, Paris.**

**MORÉJON J., 1994, « Merise, vers une modélisation orientée objet », les éditions d'organisation, Paris.**

**Murat V. & all, 2003, « Vulnérabilité à la nappe des aquifères fracturés du sud-ouest du Québec : évaluation par les méthodes DRASTIC et GOD », Recherche en cours, commission géologique du Canada, Québec. (<http://www.dsp-psd.tpsgc.gc.ca>)**

**PARASCANDOLA M-F., 1980, « Vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution. Essai d'analyse sémantique - Essai de représentation cartographique », Thèse, Montpellier, Univ. Sc. Tech. Languedoc.**

**PARENT C. & all, 1997, « MADS : un modèle conceptuel pour des applications spatio-temporelles », Revue Internationale de Géomatique, vol. 7, no 3-4.**

**PARENT C. & all, Février 1999, « MADS ou l'information spatio-temporelle a portée de ses utilisateurs », Quatrièmes rencontres de ThéoQuant, Besançon, France.**

**QUODVERTE P., 1994, « Cartographie numérique et information géographique ».**

**SAID R., 1999, « Vulnérabilité et risque de pollution des eaux souterraines. Méthodologie et cartographie », Thèse de Magister, Univ.Sc.Tech, Houari-Boumediene.**

**SALHI H., 1999, « Vulnérabilité et risque de pollution des eaux souterraines- Méthodologie et cartographie », Mémoire de fin d'étude (D.E.U.A), centre universitaire de Khmis-Miliana, département d'hydrogéologie.**

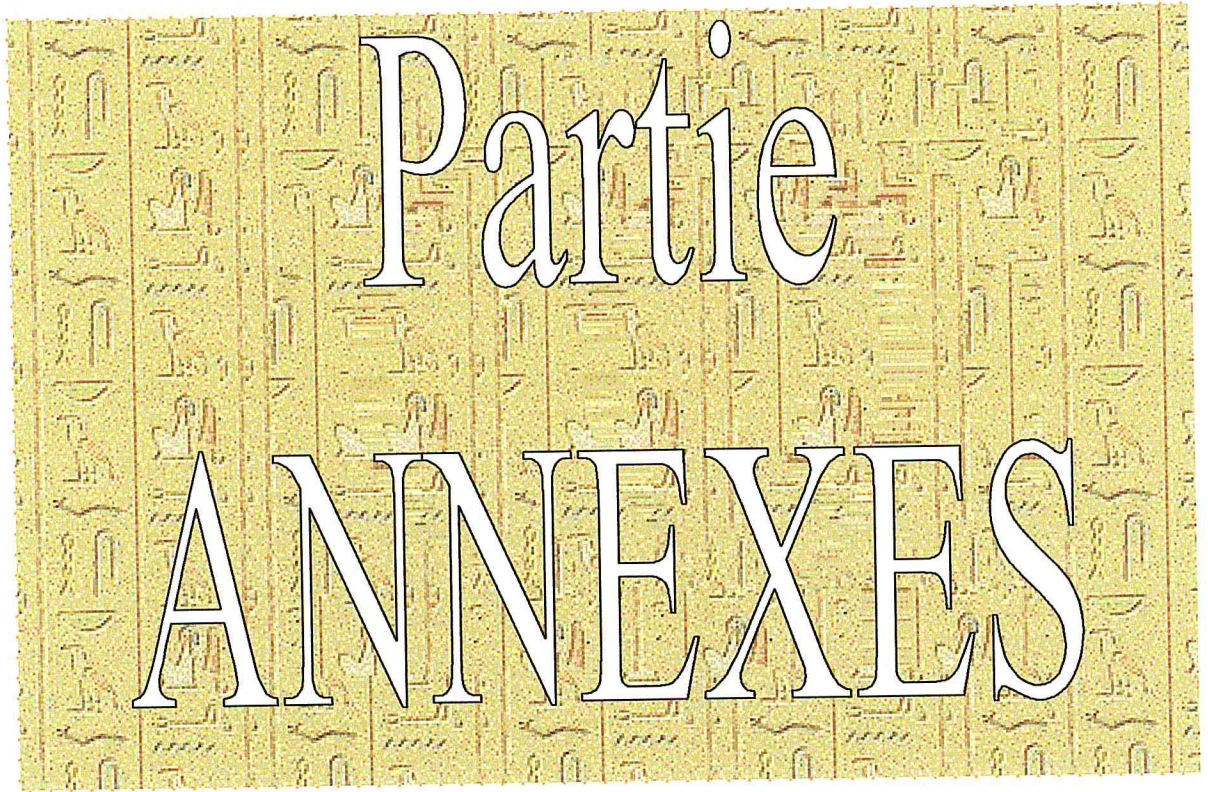
**SHOLL M. & all, 1996, « SGBD géographiques spécificité », Maison d'édition International Thompson.**

**SIOUANI N., DAOUD N., 1997, « Système d'information géographique pour le domaine minier Algérien », Mémoire d'ingénieur d'état en informatique, INI, Oued-Smar, Alger.**

**TUFFERY C., 1997, « Les SIG dans les entreprises », Edition Hermès, Paris.**

**WEGNER G., 1999, « Cartographie, volume1 », école national des sciences géographiques, champs sur marne, pp 10 à 25.**

**ZAOUI M., 1996, « Modélisation des données du réseau de gaz et contribution à sa gestion au moyen d'un SIG », thèse de magister en techniques spatiales, centre national de techniques spatiales, Alger.**



Partie  
ANNEXES

## Annexe A

### Formalisme MADS (Modélisation d'Application à données Spatio-temporelles)

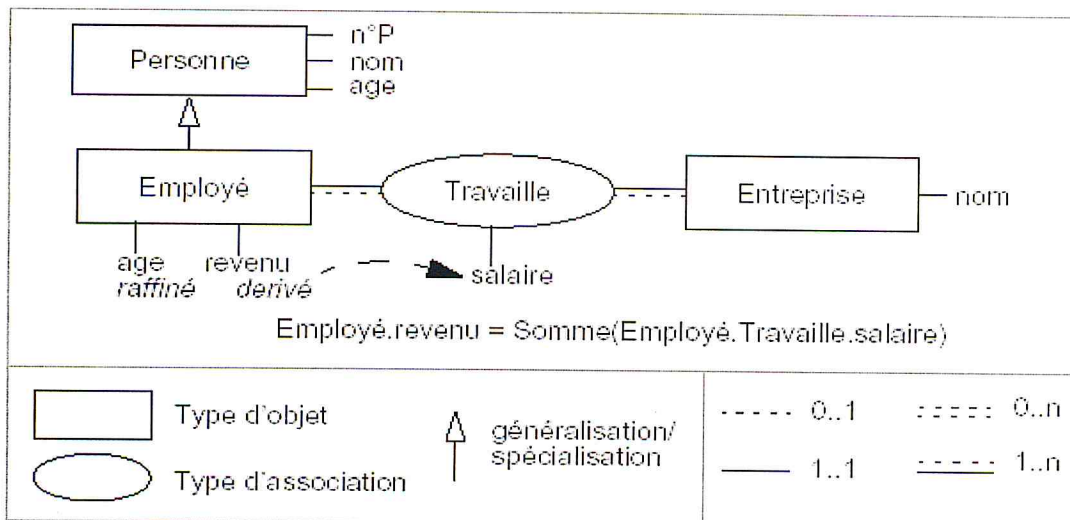
Cette annexe propose un survol de la sémantique des éléments de modélisation MADS (modèle conceptuel spatio-temporel) et de son apport.

MADS est un modèle orienté objet développé par C. PARENT & all, dans un contexte applicatif pour modéliser plusieurs applications réelles de gestion et d'aménagement de territoire : gestion pétrolière en Colombie, gestion du réseau et des eaux usées de la ville de Genève, étude de l'évolution du bassin versant du cours supérieur de la Sarine, gestion des ressources en eau du Canton de Vaud....

Les auteurs de ce modèle proposent un modèle conceptuel de données sous forme d'objets-associations conçu selon trois axes : concept structurel, concept spatial et concepts temporel.

#### 1. Concept structurel : [PARENT & all, 1997]

Le modèle MADS est basé sur un modèle de type objet + relation qui offre les concepts classiques de type d'objet, type d'association, attribut, lien de généralisation, lien d'agrégation ainsi qu'un ensemble de contraintes d'intégrité associées, comme le démontre le schéma ci-dessous.



**Fig. A.1 : Exemple de schéma MADS pour données classiques**












#### 2. Concept spatial :

Le modèle MADS fournit un ensemble de types abstraits spatiaux, organisés en une hiérarchie de généralisation. A chaque type spatial est associé un ensemble de méthodes permettant de définir et manipuler les instances de ce type.

La hiérarchie peut être étendue, selon les besoins de l'application, en créant des sous-types particuliers ou en regroupant plusieurs types dans un même sur-type.

MADS permet en outre au concepteur d'attacher une spatialité aux types d'objets comme aux attributs.

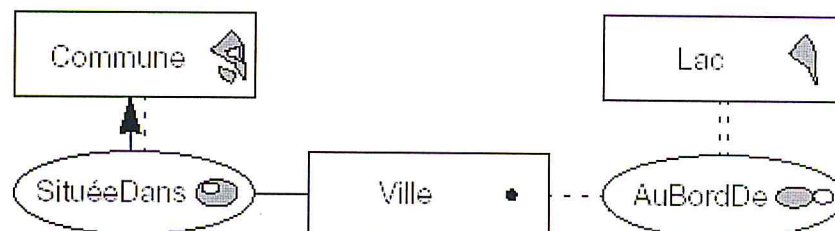
Les types abstraits de données spatiales sont décrits dans le tableau ci-dessous :

type spatial	picto.	définition
géo		tout type spatial défini ci-dessous dans ce tableau
géosimple		tout type spatial simple (un point, une ligne, une ligne orientée ou une surface simple)
point		un point
ligne		toute ligne qu'elle soit droite, courbe, brisée, fermée ou non, orientée ou non
ligne orientée		toute ligne orientée qu'elle soit droite, courbe, brisée, fermée ou non
surface simple		toute surface connexe (avec éventuellement des trous)
géocomposé		toute composition de types spatiaux simples
semis		une collection de points
graphe		une collection de lignes
digraphe		une collection de lignes orientées
surface complexe		une collection de surfaces simples







**Tableau A.1 :** Type abstrait de données spatiales

### Association spatiale :

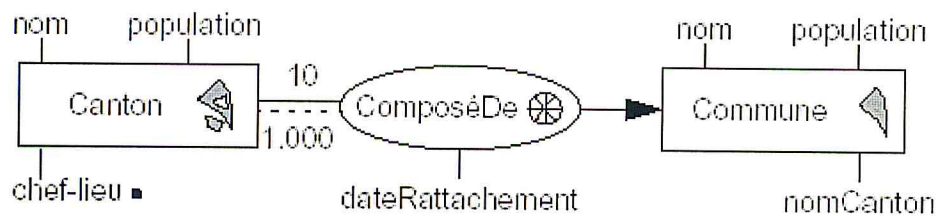
MADS ne se limite pas seulement à la représentation spatiale des objets, elle permet en outre de décrire les relations spatiales reliant ces objets et qui peuvent être de différents types : topologiques (Tableau A.2, Figure A.2), agrégation (Figure A.3), généralisation (Figure A.4) et spécialisation (Figure A.5).



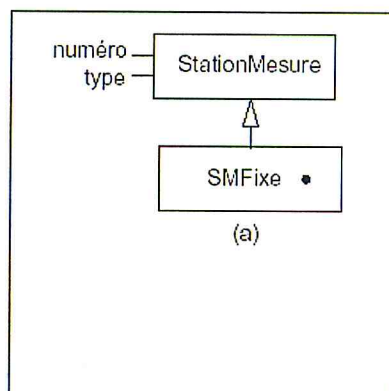
**Fig. A.2 :** Exemple de relations topologiques

type spatial	pieto.	définition
disjonction		aucun partage
adjacence		partage sans intérieur commun
croisement		partage d'une partie de l'intérieur
recouvrement		partage d'une partie de l'intérieur (valable pour des types spatiaux de même dimension)
inclusion		la totalité de l'intérieur de l'un correspond à une partie de l'intérieur de l'autre
égalité		partage de la totalité de l'intérieur et de la totalité de l'enveloppe (valable pour des types spatiaux de même dimension)

**Tableau A.2 :** Type de relation topologique



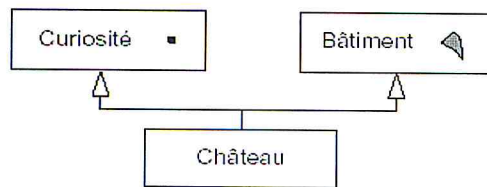
**Fig. A.3 :** Exemple de lien d'agrégation



(a) Le lien de généralisation peut relier des types spatiaux et non spatiaux.  
 (b) Chaque objet de la sous classe a une spatialité héritée de la super classe.

**Fig. A.4 :** Exemple de lien de généralisation

La spatialité des instances de la classe château peut avoir une spatialité héritée (point ou surface) en spécifiant le point de vue considéré (curiosité, Bâtiment)



**Fig. A.5 : Exemple de lien de spécialisation**

D'autres types de relations spatiales peuvent être définies explicitement par l'utilisateur à l'aide des méthodes associées aux types abstraits spatiaux. Par exemple, une association spatiale de proximité, « ProcheDe » peut être définie entre les types d'objet spatiaux Ville et Lac, avec la contrainte d'intégrité spatiale distance (Ville, Lac) < 5 km.

### 3. Concept temporel :

La connaissance de l'évolution temporelle des données en particulier spatiales, est souvent indispensable pour comprendre la dynamique des phénomènes du monde réel. C'est pourquoi le modèle MADS offre un jeu de concepts pour décrire l'historique dans le passé et l'évolution prévue dans le futur des objets, attributs et associations.

Tout attribut peut être temporel, quelles que soient ses caractéristiques structurelles (simple ou complexe, monovalué ou multivalué) et spatiales (spatial ou non, variable ou non)[PARENT & al, 1999]. La temporalité dans MADS permet en outre de :

- Conserver les différentes valeurs d'un attribut prises au cours du temps.
- Conserver l'existence des objets dans leur type plutôt que leurs valeurs. Ce qui permet de garder trace du cycle de vie des objets défini par des événements de création, de réactivation ou de destruction.
- Garder trace du cycle de vie des instances d'une association. Celle-ci peut être créée, suspendue, réactivée ou détruite.

De plus le modèle MADS offre divers types d'associations temporelles. On peut citer :

- **L'agrégation temporelle :** les objets composants représentent soit des instantanés, soit des périodes de la vie de l'objet composé.
- **L'agrégation instantanée :** l'objet composé est temporel tandis que le type d'objet composant ne l'est pas forcément.
- **La généralisation :** l'objet de la sous classe possède deux cycle de vie. L'un hérite de la super classe qui décrit la vie total de l'objet tandis que l'autre est propre à l'objet.
- **L'association de transition :** modélise le changement de classe des objets.
- **L'association de génération :** modélise les processus qui donnent lieu à l'émergence de nouveaux objets.

### 4. Développement de l'outil AGL :

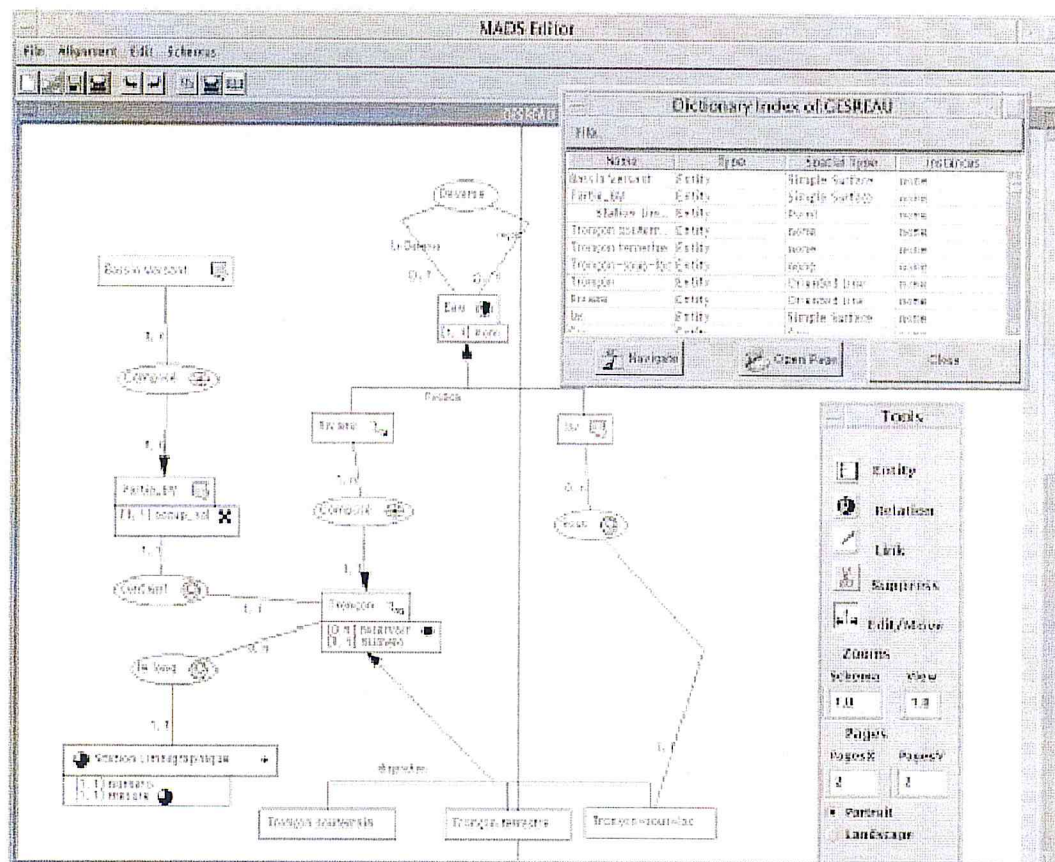
Autour du modèle MADS une méthode de conception d'applications spatio-temporelles est en cours de développement, en outre MADS a réalisé un outil AGL très complet qui permet aux utilisateurs de dialoguer avec la base de données (La fig. A.6 montre une capture d'écran de cet éditeur). Cet outil possède entre autres :

- Un éditeur visuel de schémas MADS pour créer, modifier, conserver et consulter des schémas exprimés dans ce modèle incluant le support d'un dictionnaire de données et un générateur de documentation HTML, il permet en outre de vérifier l'intégrité de ces schéma.
- Des traducteurs capables de reformuler un schéma conceptuel en un schéma logique et permettant de transformer un schéma MADS en son équivalent entité association relationnelle ou autre acceptable par un logiciel de type SGBD ou SIG.
- Un langage de manipulation associé au modèle conceptuel pour exprimer les requêtes de mise à jour et d'interrogation dans le formalisme du modèle.
- Un éditeur de requêtes visuel, permettant d'écrire une requête selon l'un des trois modes suivants :

**Mode schéma :** l'utilisateur construit par manipulations directes la structure des objets désirés en résultat et spécifie les conditions à satisfaire.

**Mode croquis :** l'utilisateur dessine le croquis de la configuration spatiale qu'il recherche.

**Mode cartographique :** l'utilisateur définit les conditions spatiales que doivent satisfaire les objets sur des cartes affichés à l'écran.



**Fig. A.6 :** Capture d'écran de l'éditeur MADS



Le modèle MADS a été validé en étant utilisé pour modéliser plusieurs applications réelles. Ces modélisations ont mis en évidence les qualités principales du modèle :

- ✓ L'orthogonalité entre les trois concepts : structurelle, spatiale et temporelle. Cette orthogonalité permet d'obtenir un modèle à la fois simple (les trois concepts sont indépendants) et puissant qui permet de regrouper dans une application des données classiques avec des données spatio-temporelles.
- ✓ La possibilité de décrire des relations topologiques ou temporelles entre les objets.
- ✓ La sémantique des relations peut être personnalisée pour satisfaire les besoins spécifiques d'une application.
- ✓ Des notations visuelles intuitives.

Il est à constater que MADS normalise la notation mais pas la démarche. Ainsi chaque organisation est libre de choisir le processus qui lui semble le plus adapté en fonction du type d'applications développées.

## Annexe B

### Tables ou Système de Cotation DRASTIC

Les cotes pour tous les paramètres DRASTIC sont compilées dans les 7 tableaux ci-après :

PROFONDEUR DE LA NAPPE (D)	
INTERVALLE (m)	COTE
0 à 1,5	10
1,5 à 4,5	9
4,5 à 9,0	7
9,0 à 15,0	5
15,0 à 23,0	3
23,0 à 31,0	2
31,0 et plus	1

RECHARGE ANNUELLE (R)	
INTERVALLE (cm)	COTE
0 à 5	1
5 à 10	3
10 à 18	6
18 à 25	8
25 et plus	9

MILIEU AQUIFÈRE (A)		
TYPE	COTE	COTE TYPE
Shale massif	1-3	2
Roches ignées/métamorphiques	2-5	3
Roches ignées/métamorphiques altérées	3-5	4
Till	4-6	5
Lits de grès, calcaire et shale	5-9	6
Grès massif	4-9	6
Calcaire massif	4-9	6
Sable et gravier	6-9	8
Basalte	2-10	9
Calcaire karstique	9-10	10

<b>TYPE DE SOL (S)</b>	
<b>TYPE</b>	<b>COTE</b>
Sol mince ou roc	10
Gravier	10
Sable	9
Tourbe	8
Argile fissurée	7
Limon sableux	6
Limon	5
Limon sitteux	4
Limon argileux	3
Terre noire	2
Argile non fissurée	1

<b>PENTE DU TERRAIN (TOPOGRAPHIE, T)</b>	
<b>INTERVALLE (%)</b>	<b>COTE</b>
0-2	10
2-6	9
6-12	5
12-18	3
>18	1

<b>IMPACT DE LA ZONE NON SATUREE (VADOSE) (I)</b>		
<b>TYPE</b>	<b>COTE</b>	<b>COTE-TYPE</b>
Couche imperméable	1	1
Silt/argile	2-6	3
Shale	2-5	3
Calcaire	2-7	6
Grès	4-8	6
Lits de calcaire, grès et shale	4-8	6
Sable et gravier avec silt et argile	4-8	6
Roches ignée/métamorphique	2-8	4
Sable et gravier	6-9	8
Basalte	2-10	9
Calcaire karstique	8-10	10

<b>CONDUCTIVITÉ HYDRAULIQUE (C)</b>	
<b>INTERVALLE (M/J)</b>	<b>COTE</b>
<b>0,04-4</b>	<b>1</b>
<b>4-12</b>	<b>2</b>
<b>12-29</b>	<b>4</b>
<b>29-41</b>	<b>6</b>
<b>41-82</b>	<b>8</b>
<b>82+</b>	<b>10</b>

## Annexe C GLOSSAIRE

Ce glossaire présente la définition de certains termes utilisés en Système d'Information Géographique et hydrologique :



**Affichage de la carte \*** : Représentation graphique des entités cartographiques sur l'écran de l'ordinateur.

**Alimentation en Eau Potable (AEP) \*\*** : Ensemble des équipements, des services et des actions qui permettent, en partant d'une eau brute, de produire une eau conforme aux normes de potabilité en vigueur, distribuée ensuite aux consommateurs.

**Analyse spatiale \*** : Etude de la position et de la forme des entités géographiques, ainsi que des relations entre elles.

**Ancre de sélection \*** : Petit « x » situé au centre des entités sélectionnées. L'ancre de sélection permet de déplacer les entités à l'aide de l'option d'alignement. Il s'agit du point sur l'entité ou le groupe d'entités qui sera aligné. Il s'agit également du point autour duquel votre sélection tourne lorsque vous utilisez l'outil rotation et autour duquel l'entité se met à l'échelle lorsque vous utilisez l'outil échelle.

**Appariement d'adresses \*** : Processus d'affectation de coordonnées X, Y à une adresse pour qu'elle s'affiche sous la forme de points sur une carte.

**Application \*** : Utilisation particulière d'un SIG ; On utilise ce terme pour qualifier l'ensemble des développements ou des personnalisations d'outils SIG réalisés pour répondre à des besoins spécifiques.

**Aquifère \*\*** : formation géologique contenant de façon temporaire ou permanente de l'eau mobilisable (lit ou strate), constituée de roches perméables (formations poreuses et/ou fissurées) et capable de la restituer naturellement et/ou par exploitation (drainage, pompage, ...).

**Association topologique \*** : Relation spatiale unissant des entités partageant une géométrie, telles que des limites et des sommets.

**Attribut \*** : Caractéristiques d'une entité cartographique. Les attributs d'un fleuve peuvent être par exemple son nom, sa longueur, sa profondeur moyenne, ... etc.



(\*) : Support de cours et exercices pratiques, ArcGIS, centre de formation, ESRI France, 2001.

(\*\*) : Réseau National des Données sur l'Eau, Réseau de bassin Rhône Méditerranée Corse, L'agence de l'eau RMC, France, 2003.

**Bande (band) \*** : Couche d'une image multi-spectrale (SPOT, LANDSAT TM, ...) représentant une partie spécifique du spectre électromagnétique du rayonnement réfléchi par la surface terrestre (Satellite).

**Barre d'échelle \*** : Élément cartographique représentant graphiquement l'échelle d'une carte.

**Barrière \*** : Objet placé sur une carte, précisant un emplacement dans un réseau, au delà duquel le traçage ne peut se poursuivre.

**Base de données (database) \*** : Ensemble de fichiers apparentés, ordonnés en vue d'une extraction efficace des informations.

**Base de données SIG \*** : Ensemble de couches cartographiques (comprenant les entités et les informations qui les décrivent) organisés de manière à optimiser l'efficacité du stockage et de la récupération des données par de multiples utilisateurs.

**Bassin hydrogéologique \*\*** : Aire de collecte considérée à partir d'un exutoire ou d'un ensemble d'exutoires, limitée par le contour à l'intérieur duquel se rassemblent les eaux qui s'écoulent en souterrain vers cette sortie. La limite est la ligne de partage des eaux souterraines.

**Bassin versant \*** : Surface d'alimentation d'un cours d'eau ou d'un lac. Le bassin versant se définit comme l'aire de collecte considérée à partir d'un exutoire, limitée par le contour à l'intérieur duquel se rassemblent les eaux précipitées qui s'écoulent en surface et en souterrain vers cette sortie (entité de jonction ou prend fin un flux).

**Bloc de données \*** : Bloc sur la carte qui affiche des couches occupant la même zone géographique. Une carte peut contenir un ou plusieurs blocs de données, en fonction de la façon dont on souhaite organiser ses données. Par exemple un bloc de données peut mettre en surbrillance une zone d'étude, tandis qu'un autre peut donner un aperçu de la localisation de la zone d'étude.

**Bloc de données actif \*** : Bloc de donnée sur lequel vous travaillez actuellement, par exemple, pour y ajouter des couches. Il s'affiche en gras dans la table des matières.



**Canal \*** : Mesure d'une caractéristique ou qualité des entités observées dans un raster. Certains raster possèdent un seul canal, d'autres d'avantage. L'imagerie par satellite, par exemple, possède fréquemment plusieurs canaux représentant des longueurs d'onde d'énergie différentes provenant du spectre électromagnétique.

**CAO \*** : Conception Assistée par Ordinateur. Système automatisé destiné à la conception, au dessin et à l'affichage d'informations orientées graphiquement.

**Carte \*** : Représentation graphique d'entités géographiques. Elle contient des données géographiques ainsi que d'autres éléments tels que titre, flèche du nord, légende et barre d'échelle.

**Carte topographique \*** : Représentation d'entités naturelles ou artificielles indiquant leur position relative et leur altitude.

(\*) : Support de cours et exercices pratiques, ArcGIS, centre de formation, ESRI France, 2001.

(\*\*) : Réseau National des Données sur l'Eau, Réseau de bassin Rhône Méditerranée Corse, L'agence de l'eau RMC, France, 2003.

**Cartographie sur ordinateur \*** : Logiciel micro-informatique permettant de cartographier des informations. Ces systèmes vont programmes servant uniquement à visualiser des cartes aux systèmes d'information géographique (SIG) les plus complets.

**Cartographie thématique \*** : Forme de cartographie sur ordinateur utilisant des informations stockées dans des applications de type tableur ou dans une base de données et permettant de réaliser des documents cartographiques à des fin de présentation.

**Cellule \*** : unité uniforme ponctuelle représentant une portion du globe dans un raster. La cellule possède une valeur correspondante à l'entité ou caractéristique de ce site telle que le type de sol, le secteur de recensement ou l'altitude.

**Champ \*** : Colonne d'une table. Chaque champ contient des valeurs d'un attribut unique.

**Classe \*** : Groupe ou catégorie de valeurs d'attributs.

**Classification \*** : Processus de tri ou de regroupement de valeurs d'attributs en groupes ou catégories ; tous les membres d'un groupe sont représentés sur une carte par le même symbole.

**COM (Component Object Model) \*** : Technologie normalisée qui permet la communication entre des composants hétérogènes. La compatibilité des applications avec la norme COM permet de personnaliser les logiciels SIG en construisant des macros ou en créant des composants (des extensions) à l'aide des environnements standards de développement tels que Visuel Basic, C++ ou Delphi.

**Coordonnées \*** : Couple (ou triplet) de valeurs numériques permettant de positionner un point dans un plan (coordonnées planaires) ou sur une surface (coordonnées géographiques).

**Coordonnées géographiques \*** : Mesures d'une position à la surface de la terre ; exprimées en degré de l'altitude et de longitude.

**Coordonnées projetées \*** : Mesure de position sur la surface du globe, exprimé en un système à deux dimensions localisant des entités en fonction de leur distance par rapport à une origine (0, 0) le long de deux axes : un axe horizontal X représentant la direction Est-ouest et un axe vertical y représentant la direction Nord-sud. Une projection cartographique transforme la latitude et la longitude en coordonnées X, Y dans un système de coordonnées projetées.

**Croisement spatial \*** : Processus qui consiste à superposer des couches (thème) de données géographiques occupant le même espace dans le but d'étudier les relations qui existent entre ces données.

**Couche (layer) \*** : Jeu de données géographiques organisées par thématiques (routes, parcelles, commune, ...), décrites et stockées dans les logiciels de SIG. Conceptuellement, une couche est similaire à une couverture.

**Couche cible \*** : Définition de la liste déroulante couche cible déterminant dans quelle couche les nouvelles entités seront insérées. Vous définissez la couche cible en cliquant sur une couche de la liste déroulante couche cible.

---

(\*) : Support de cours et exercices pratiques, ArcGIS, centre de formation, ESRI France, 2001.

(\*\*) : Réseau National des Données sur l'Eau, Réseau de bassin Rhône Méditerranée Corse, L'agence de l'eau RMC, France, 2003.

**Couverture (coverage) \*** : Couche d'information géographique, une couverture contient la description géométrique, topologique et attributive des entités géographiques.



**Débit \*\*** : volume d'eau écoulé par unité de temps dans un système fluvial ou un aquifère. Débit instantané exprimé généralement en m<sup>3</sup>/s.

**Déformation \*** : Transformation d'un raster en coordonnées cartographiques.

**Dégradé de couleurs \*** : Plage de couleurs utilisée dans une carte pour montrer le rang ou l'ordre des attributs d'entités.

**Degrés décimaux \*** : Degrés de latitude et de longitude exprimés en tant que décimales, plutôt qu'en tant que degrés, minutes et secondes. Les degrés décimaux se calculent à l'aide de la formule suivante : degrés décimaux = degrés + minutes/60 + seconde/3600 (exemple : 73° 59' 15'' de longitude correspondent à 73,9875 degrés décimaux).

**Diagramme \*** : Représentation graphique de données tabulaires. Un diagramme est également désigné sous le terme de graphique.

**Dictionnaire des données \*** : Ensemble d'informations répertoriant les caractéristiques des données dans une base SIG. On peut trouver dans ce dictionnaire les informations suivantes : nom complet des attributs, signification des codes, échelle des données source, précision des données géographiques, projection cartographique utilisée...etc.

**Données \*** : Ensemble de faits reliés, généralement regroupés en un format particulier, dans un but particulier.

**Données cartographiques numérisées \*** : Positions géographiques (coordonnées) et formes géométriques des entités cartographiques, stocké dans un format exploitable sur ordinateur.

**Données de références de géocodage \*** : Données qu'utilise un service de géocodage pour définir les représentations géométriques de positions.

**Données géographiques \*** : Information renseignant sur les objets observés à la surface de la terre, y compris leur position géographique, leur forme et leur description. Les données géographiques peuvent se présenter sous différentes formes : données spatiales (localisées), données tabulaires (littérales) et données image.

**Données géoréférencées \*** : Forme de cartographie sur ordinateur qui associe les données à des positions géographiques et représente sur une carte les adresses localisées par des entités ponctuels.

**Données image \*** : Représentations graphiques d'objets. Exemple : images satellitaires, photographies aériennes, documents scannés...etc.

**Données scannées \*** : Information (photographie ou document imprimé, par exemple) qui ont été converties dans un format numérique à partir du support papier.

(\*) : Support de cours et exercices pratiques, ArcGIS, centre de formation, ESRI France, 2001.

(\*\*) : Réseau National des Données sur l'Eau, Réseau de bassin Rhône Méditerranée Corse, L'agence de l'eau RMC, France, 2003.



**Données spatiales ou données localisées \*** : Position et forme d'entités géographiques, chacune étant décrite.

**Données tabulaires \*** : Information descriptive stockée sous forme de lignes et de colonnes, que l'on peut relier à des entités cartographiques.

**Drapeau \*** : Objet placé sur une carte pour indiquer le point de départ d'une tâche de traçage.



**Eau souterraine \*\*** : Toutes les eaux se trouvant sous la surface du sol en contact direct avec le sol ou le sous-sol et qui transitent plus ou moins rapidement (jour, mois, année, siècle, millénaire) dans les fissures et les pores en milieu saturé ou non.

**Echelle \*** : Relation entre les dimensions des entités d'une carte et celles des objets géographiques réels qu'elle représentent, généralement exprimée sous forme de fraction ou de rapport. Une carte au 1/100 000° signifie qu'une unité de mesure sur la carte est égale à 100 000 fois la même unité sur la surface de la terre.

**Élément de diagramme \*** : Barre verticale ou horizontale, aire, secteur d'un diagramme, ou symbole ponctuel d'une courbe, représentant des données d'un tableau de chiffres.

**Élément cartographique \*** : Composant graphique tel qu'une barre d'échelle, une flèche du nord, permettant de décrire les données d'un tableau de chiffres.

**Entité ou entité cartographique \*** : Représentation d'un objet du monde réel sur la couche d'une carte.

**Entité (feature) \*** : Forme géométrique (et sa position géographique) utilisée pour représenter un objet du monde réel sur une carte.

**Entité activé \*** : Entité du réseau permettant au flux de la traverser.

**Entité de réseau \*** : Entité faisant partie d'un réseau géométrique.

**Entité linéaire (line feature) \*** : forme figurant sur une carte et représentant un objet du monde réel trop étroit pour être décrit en terme de surface. Exemple d'entités linéaires : voies, rivières, courbes de niveau...etc.

**Entité multi parties \*** : Entité composée de plusieurs parties physiques, mais ne référençant qu'un seul jeu d'attributs dans la base de données. Par exemple, dans une couche d'état, l'état de Hawaii peut être considéré comme une entité multi parties. Cependant même s'il est composé de plusieurs îles, il serait enregistré dans la base de données comme une seule entité.

**Entités multi points \*** : Entité composée de plusieurs points, mais ne référençant qu'un seul jeu d'attribut dans la base de données. Par exemple, un système de puits de pétrole peut être considéré comme une entité multi points, car elle possède un seul jeu d'attributs pour le puit principal et les nombreux trous de forages.

(\*) : Support de cours et exercices pratiques, ArcGIS, centre de formation, ESRI France, 2001.

(\*\*) : Réseau National des Données sur l'Eau, Réseau de bassin Rhône Méditerranée Corse, L'agence de l'eau RMC, France, 2003.

**Entité ponctuelle \*** : Forme représentant, sur une carte, un objet géographique trop petit pour être représenté par une ligne ou par une surface. Exemple d'entités ponctuelles : puits, bouches d'incendie, point de référence... etc.

**Entité surfacique ou polygone \*** : Sur une carte, forme géométrique représentant un objet géographique aux dimensions trop importante pour pouvoir être représenté sous la forme d'un point ou d'une ligne. Exemple d'entités surfaciques (ou polygonales) : pays, zone de recensement, lacs... etc.

**Epandage \*\*** : Apports sur le sol, selon une répartition régulière, d'effluents d'élevage, d'amendements, d'engrais, de produits phytosanitaires, de boues de station d'épuration, etc.

**Etiquette textuelle \*** : Texte ajouté à une carte pour faciliter l'identification des entités.

**Etirement \*** : Action appliquée à un raster pour augmenter le contraste visuel entre ses cellules.



**Fichier de forme \*** : Format de stockage des données vectorielles pour l'archivage de l'emplacement, de la forme et des attributs des entités géographiques. Un fichier de forme est enregistré dans un dossier et contient une classe d'entités.

**Filtre de pondération \*** : Spécification selon laquelle des entités de réseau sont tracées, en fonction de leur valeur pondérale.

**Flèche du nord ou flèche d'orientation \*** : Élément cartographique montrant l'orientation de la carte.

**Forme (shape) \*** : Caractéristique géométrique d'un objet géographique (entité). La plupart des objets géométriques peuvent être représentés sur une carte à l'aide de trois formes élémentaires : points, ligne et polygone.



**Géocodage \*** : Processus de création de représentations géométriques de positions (telles que les entités de points) à partir de description (telles que des adresses).

**Géodatabase \*** : Base de données géographique proposant des services de gestion de données géographiques. Une géodatabase est hébergée dans un système de gestion de base de données relationnelles. Elle contient des jeux de classes d'entités.

**Géomatique \*** : Ensemble des applications liées à la gestion et au traitement informatique des données géographiques.

**Géoréférencement \*** : Processus qui consiste à établir une relation (mathématique) entre des coordonnées papier (exemple : centimètres ou millimètres) sur une carte planaire et des coordonnées réelles (géographiques). Le géoréférencement nécessite de connaître les coordonnées d'un certain nombre de points (points de calage ou TIC) dans l'un et l'autre des systèmes.

(\*) : Support de cours et exercices pratiques, ArcGIS, centre de formation, ESRI France, 2001.

(\*\*) : Réseau National des Données sur l'Eau, Réseau de bassin Rhône Méditerranée Corse, L'agence de l'eau RMC, France, 2003.

**Géosignet \*** : Identifie une position géographique particulière que vous souhaitez enregistrer pour vous en servir plus tard, par exemple, une zone d'étude.

**Gestionnaire des styles \*** : Outil permettant de créer des styles et de modifier les styles existants.

**Graticule \*** : Représentation graphique sur une carte du réseau de parallèles et de méridiens (longitude et latitude) qui divise la surface du globe.

**GRID \*** : Module du logiciel Arc/Info conçu par ESRI pour la gestion, le traitement et l'analyse de données cellulaires (données maillées ou données raster)

**Grille \*** : représentation géographique du monde sous forme de tableaux contenant des cellules carrées de taille égale réparties en lignes et en colonnes. Chaque cellule est référencée par sa localisation géographique X, Y.

**Groupe de couches \*** : plusieurs couches ayant l'apparence et le comportement d'une couche individuelle.



**Hydraulique \*\*** : qui est relatif à l'aspect physique de l'écoulement de l'eau. Utilisé de manière courante pour parler de la dynamique des eaux de surface.

**Hydrologique \*\*** : qui est relatif aux phénomènes et processus qui caractérisent la circulation de l'eau dans l'hydrosystème.

**Hydrosystème \*\*** : Ensemble des éléments d'eau courante, d'eau stagnante, semi-aquatiques, terrestres, tant superficiels que souterrains et leurs interactions.

**Hyperlien \*** : Affiche, lorsque vous cliquez dessus, des données, telles qu'une image ou une page web.



**Image \*** : Représentation du monde géographique en divisant le monde en carrés discrets désignés sous le terme de cellules. Exemple : photographie aérienne et par satellite, documents numérisés et photographies de bâtiments.

**Infiltration (recharge) \*\*** : L'infiltration est la quantité d'eau franchissant la surface du sol. Elle renouvelle les stocks d'eau souterraine et entretient le débit de l'écoulement souterrain dans les formations hydrogéologiques perméables du sous-sol.

**Infiltration efficace \*\*** : Quantité d'eau infiltrée parvenant jusqu'à la nappe et contribuant à l'alimentation de celle-ci ; elle est parfois exprimée en pourcentage par rapport à la quantité d'eau reçue en surface pendant la durée de référence.

**Info-bulle \*** : Description à l'écran d'entités de la carte s'affichant lorsque vous maintenez le pointeur de la souris sur une entité.

(\*) : Support de cours et exercices pratiques, ArcGIS, centre de formation, ESRI France, 2001.

(\*\*) : Réseau National des Données sur l'Eau, Réseau de bassin Rhône Méditerranée Corse, L'agence de l'eau RMC, France, 2003.

**Isohypse \*** : Ligne joignant des points de même altitude.

**Isoligne (contour) \*** : Ligne joignant des points ou des cellules d'égale valeur. Par exemples : courbes de niveau, isobathes, isochrones, ....

**Jeu de classes d'entités \*** : Ensemble de classes d'entités partageant la même référence spatiale. Elles peuvent en conséquence faire partie de relations topographiques telle qu'un réseau géométrique. Les classes d'objets et de relations peuvent être enregistrées dans un jeu de classes d'entités.

**Jeu de données \*** : équivalent de source de données.

**Jeu sélectionné \*** : Sous ensemble d'entité d'une couche ou 'enregistrement d'une table.

**Jointure \*** : Processus de liaison de données tabulaires à une couche. Le champ d'une table est ajouté à la couche à l'aide d'un champ commun. La jointure établit des relations univoques, un à plusieurs, ou multivoques entre les entités cartographiques et les attributs de la table.

**Jointure spatiale \*** : Type d'analyse spatiale où les attributs de deux entités de deux couches différentes sont joints d'après la position relatives des entités.

**Jonction \*** : Entité de réseau servant à l'intersection de deux (ou plusieurs) tronçon ou à l'extrémité d'un tronçon et qui permet le transfert de flux entre les tronçons.

**Légende \*** : Liste de symboles apparaissant sur la carte. Elle contient un exemple de chaque symbole suivi d'un texte décrivant l'entité qu'elle représente.

**Lignes \*** : Forme définie par au moins deux paires de coordonnées X, Y.

**Limite partagée \*** : Segment ou limites communes a deux entités. Par exemple, dans une base de données de parcelles, les parcelles adjacentes partagent une limite.

**Macro \*** : Procédure rédigé en VBA permettant de réaliser un traitement. Les macros peuvent être associées à des éléments de l'interface (boutons, outils...).

**MNT (DEM) \*** : Un Modèle Numérique de Terrain (Digital Elevation Model) est une représentation sous forme numérique du relief d'une zone géographique. Ce modèle numérique peut être composé d'entités vectorielles ponctuelles (points cotés), linéaires (courbes de niveau), surfaciques (facettes) ou représenté en mode raster (cellules).

(\*) : Support de cours et exercices pratiques, ArcGIS, centre de formation, ESRI France, 2001.

(\*\*) : Réseau National des Données sur l'Eau, Réseau de bassin Rhône Méditerranée Corse, L'agence de l'eau RMC, France, 2003.

**Mise en page \*** : Agencement des éléments (données géographiques, flèches du nord, barres d'échelle...etc.) sur un affichage de carte numérique ou carte imprimé.

**Mode données \*** : Vue multi usages destinée à l'observation, l'affichage et l'interrogation des données géographiques. Cette vue masque les éléments cartographiques tels que les titres, les flèches du nord et les barres d'échelles.

**Mode mise en page \*** : vue permettant la définition de l'agencement d'une carte sur la page. Le mode mise en page affiche la page virtuelle sur laquelle vous placez et disposez les données géographiques et les éléments cartographiques comme les titres, légendes et barre d'échelle, pour les imprimer.

**Mode numérisation \*** : Appelé aussi mode absolu, le mode numérisation est l'un des modes de fonctionnement de la tablette de digitalisation. En mode numérisation, l'emplacement de la tablette est projeté sur un emplacement précis à l'écran. Le fait de déplacer le viseur du digitaliseur sur la surface de la tablette déplace exactement le pointeur de la tablette vers la même position.

**Mode souris \*** : Appelé aussi mode relatif, le mode souris est l'un des modes de fonctionnement de la tablette de digitalisation. En mode souris le viseur se comporte comme une souris : il n'y a aucune corrélation entre la position du pointeur de l'écran et la surface de la tablette de digitalisation, mais vous pouvez sélectionner des éléments de l'interface avec le pointeur.



**Nappe captive \*\*** : Volume d'eau souterraine généralement à une pression supérieure à la pression atmosphérique car isolée de la surface du sol par une formation géologique imperméable. Une nappe peut présenter une partie libre et une partie captive.

**Nappe libre \*\*** : Volume d'eau souterraine dont la surface est libre c'est-à-dire à la pression

**Nappe phréatique\*\*** : Première nappe rencontrée lors du creusement d'un puits. Nappe généralement libre, c'est-à-dire dont la surface est à la pression atmosphérique. Elle peut également être en charge (sous pression) si les terrains de couverture sont peu perméables.

**Nœud (Node) \*** : Point de début et de fin d'un arc dans une couverture. Sommet d'une facette triangulaire dans TIN Arc/Info.

**Normes OMS \*\*** : Valeurs guides recommandées par l'Organisation Mondiale de la Santé visant à la protection de la santé publique, mais ne constituant pas des limites impératives. Elles sont destinées à servir de principes de base pour l'élaboration de normes nationales qui pour leur part prennent en compte les conditions environnementales, sociales, économiques et culturelles locales.

**Numérisation \*** : Processus de conversion des entités figurant sur une carte papier en format numérique. Lorsque vous numérisez une carte, vous utilisez une tablette de digitalisation, ou digitaliseur, connecté à votre ordinateur et tracez les entités à l'aide du viseur du digitaliseur, qui est semblable à une souris. Les coordonnées X, Y de ces unités sont automatiquement enregistrées et stockées en tant que données spatiales.

(\*) : Support de cours et exercices pratiques, ArcGIS, centre de formation, ESRI France, 2001.

(\*\*) : Réseau National des Données sur l'Eau, Réseau de bassin Rhône Méditerranée Corse, L'agence de l'eau RMC, France, 2003.

**Numérisation en mode continu \*** : L'une des deux méthodes de numérisation à partir d'une carte papier. La numérisation en mode continu constitue un moyen rapide de saisir les entités d'une carte papier qui n'ont pas besoin d'être très précises, telles que les cours d'eau et les lignes de contour. Ce mode de numérisation permet de créer le premier sommet de l'entité, puis de tracer le reste de l'entité à l'aide du viseur du digitaliseur.

**Numérisation en mode ponctuel \*** : Permet de créer ou de modifier les entités en numérisant une série de points ou de sommets précis. Elle est efficace lorsque vous avez besoin d'une numérisation précise, par exemple, lorsque vous numérisez une ligne parfaitement droite.



**Objet géographique \*** : Objet qui a une localisation et une dimension dans l'espace, qui met en jeu des lieux, et qui est étudié par le géographe : un réseau, une ville, une région, une montagne, un champ, une distribution spatiale, un itinéraire, un Etat. Il peut être représenté par un point, une ligne ou un polygone.

**Opération de construction \*** : Opération d'édition effectuée sur une construction existante. Exemple : insérer un sommet, supprimer un sommet, inverser, tronquer, supprimer la construction...etc.

**Orle \*** : Bordure dessinée généralement autour des entités géographiques, souvent pour les séparer des autres éléments cartographiques.



**Paramètre \*\*** : Grandeur mesurable permettant de présenter de façon plus simple et plus abrégée les caractéristiques principales d'un ensemble statistique.

**Pesticides \*\*** : Ce terme regroupe les herbicides, les insecticides, fongicides... Ce sont des substances chimiques utilisées pour la protection des cultures contre les maladies, les insectes ravageurs, les "mauvaises herbes" ou autres des prédateurs.

**Piézomètre \*\*** : dispositif de mesure de la hauteur de la nappe. Les piézomètres sont le plus souvent équipés d'appareillage de mesure et d'enregistrement en continu d'un niveau d'eau mesuré dans un puits ou un forage.

**Poids \*** : Propriété d'une entité de réseau généralement utilisée pour représenter le coût de traverser d'un tronçon ou d'une jonction.

**Point \*** : Forme définie par une seule coordonnées x, y.

**Point de contrôle terrestre \*** : Emplacement de coordonnées x, y connues destinées à géoréférencer un raster. Un point de contrôle terrestre relie une position du raster à une position en coordonnées cartographiques.

**Pollution de l'eau \*\*** : Rejet de substances ou d'énergie effectué ou non par l'homme dans le milieu aquatique, directement ou indirectement, et ayant des conséquences de nature à mettre en danger la santé humaine, à nuire aux ressources vivantes et au système écologique aquatique, à porter atteinte aux agréments ou à gêner d'autres utilisations légitimes des eaux.

(\*) : Support de cours et exercices pratiques, ArcGIS, centre de formation, ESRI France, 2001.

(\*\*) : Réseau National des Données sur l'Eau, Réseau de bassin Rhône Méditerranée Corse, L'agence de l'eau RMC, France, 2003.

**Pollution diffuse \*\*** : Pollution des eaux due non pas à des rejets ponctuels et identifiables, mais à des rejets issus de toute la surface d'un territoire et transmis aux milieux aquatiques de façon indirecte, par ou à travers le sol, sous l'influence de la force d'entraînement des eaux en provenance des précipitations ou des irrigations.

**POS\*\*** : Plan d'Occupation des Sols.

**Polyligne (polyline) \*** : Forme composée de plusieurs segments ordonnés et connectés. Les connexions entre ces segments sont appelées les sommets de la polyligne. Les points de début et de fin d'une polyligne sont appelés les extrémités.

**Précision cartographique (map precision) \*** : Notion liée à la description géométrique (localisation et forme) des objets géographiques (entités). Elle correspond au nombre de chiffres significatifs utilisés pour le stockage des coordonnées des entités. Ne pas confondre la précision avec la notion de fiabilité qui traduit la fidélité à la réalité de cette description géométrique. On peut décrire des entités avec des coordonnées précises qui sont fausses (pas fiable). On parlera d'exactitude pour qualifier une carte précise et fiable.

**Priorité de capture \*** : Ordre dans lequel la capture s'effectuera par couche.

**Projection cartographique \*** : Formule mathématique qui convertit les positions de latitude et de longitude sur la surface courbe (sphérique) de la Terre en positions x, y sur la surface plane de la carte. Les projections cartographiques altèrent une ou plusieurs des propriétés spatiales suivantes : distance, surface, forme, et direction.

**Pyramide \*** : Couche de raster à basse résolution enregistrant les données de raster d'origine dans des niveaux de résolution décroissante. Les pyramides permettent de réduire le temps d'affichage des données raster.



**Raster \*** : Représente une source de données s'appuyant sur une structure de grille pour stocker les structures géographiques.

**Rééchantillonnage \*** : Processus d'affectation d'une valeur à une cellule lors de la transformation d'un raster. Les trois techniques de rééchantillonnage les plus courantes sont l'affectation du plus proche voisin, l'interpolation bilinéaire et la convolution cubique.

**Requête \*** : Question permettant de sélectionner des entités. Une requête apparaît souvent sous la forme d'une instruction ou d'une expression logique.

**Réseau \*** : Ensemble de segments et de jonctions connectés topologiquement.

**Réseau géométrique \*** : Ensemble de classes d'entités faisant partie d'un réseau.

**Résolution \*** : Pour une carte elle représente la taille du plus petit objet géographique représenté sur une carte. La résolution d'une carte est liée à l'échelle de la carte. Pour une image raster c'est le nombre de points en x et y.



(\*) : Support de cours et exercices pratiques, ArcGIS, centre de formation, ESRI France, 2001.

(\*\*) : Réseau National des Données sur l'Eau, Réseau de bassin Rhône Méditerranée Corse, L'agence de l'eau RMC, France, 2003.

**Segment \*** : Ligne connectant des sommets dans une construction. Dans la construction d'un bâtiment par exemple, un segment représente une ligne.

**Sélectionner \*** : Choisir parmi un groupe d'entités ou d'enregistrements.

**Session de mise à jour \*** : Toutes les modifications ont lieu lors d'une session de mise à jour.

**Site pollué \*\*** : Site dont le sol ou le sous-sol ou les eaux souterraines ont été pollués par d'anciens dépôts de déchets ou l'infiltration de substances polluantes, cette pollution étant susceptible de provoquer une nuisance ou un risque pérenne pour les personnes ou l'environnement.

**Sommet \*** : Point joignant deux segments d'une même entité. Par exemple un bâtiment carré possède quatre sommets, un à chaque coin.

**Source \*** : entité de jonction où origine un flux.

**Source de données \*** : Données géographiques, telles que couverture, fichier de formes, raster ou géodatabase.

**Style \*** : Ensemble d'éléments à utiliser pour créer des cartes ou à placer sur les cartes. Les comprennent des éléments tels que les symboles, les barres d'échelles, les flèches du nord et les couleurs.

**Superposition spatiale \*** : Processus d'empilement de couches géographiques occupant le même espace, afin d'étudier la relation qui existent entre elles.

**Surface (area) \*** : Dans ArcView, forme géométrique fermée (polygone) définie par les coordonnées des sommets de son contour. Dans Arc/Info, un polygone est défini par les arcs qui composent son contour. Terme utilisé couramment dans les logiciels SIG pour désigner l'attribut de superficie d'un polygone.

**Symbole \*** : Élément graphique utilisé sur une carte pour faciliter l'identification d'une entité et renseigner celle-ci.

**Système de coordonnées \*** : Méthode de précision de la localisation d'entités du monde réel sur la surface du globe.



**Table \*** : Informations présentées en lignes et en colonnes.

**Table attributaire \*** : Informations renseignant sur les entités d'une carte et stockées sous forme de lignes et colonnes. Chaque ligne correspond à une seule entité; chaque colonne contient les valeurs d'une seule caractéristique.

**Table des matières \*** : Liste de toutes les couches de la carte et affichage de ce que représentent les entités de chaque couche.

**Téledétection \*** : Ensembles des connaissances et techniques utilisées pour déterminer les caractéristiques physiques et biologiques par des mesures effectuées à distance sans contact matériel avec ceux-ci.

(\*) : Support de cours et exercices pratiques, ArcGIS, centre de formation, ESRI France, 2001.

(\*\*) : Réseau National des Données sur l'Eau, Réseau de bassin Rhône Méditerranée Corse, L'agence de l'eau RMC, France, 2003.



**Thème \*** : Ensemble d'entités géographiques apparentées (voies, parcelles, rivières, ...) et les attributs (caractéristiques) de ces entités. On parle aussi de fond de carte.

**TIN (Triangular Irregular Network) \*** : réseau triangulé irrégulier qui est une structure de données représentant une surface continue par le biais d'une série de points espacés de manière irrégulière et de valeurs décrivant la surface à ce point (altitude par exemple). A partir de ces points un réseau de triangles reliés forme la surface.

**Topologie \*** : Description des relations spatiales entre les entités d'une couche d'information géographique. Dans les couvertures Arc/Info, la topologie décrit les relations de connexions entre les arcs et d'adjacence entre les polygones. L'intérêt de la topologie dans les SIG est de supprimer les redondances dans la description géométrique des entités et d'accélérer les opérations d'analyse spatiale.

**Toponymes \*** : Mot(s) décrivant de manière nominative un objet cartographique (rivière, commune, route, forêt, ...).

**Toponymie \*** : Ensemble des toponymes d'une carte.

**Traçage \*** : Processus de création d'un ensemble d'entités de réseau en fonction d'une procédure.

**Tronçon \*** : Entité de réseau possédant une longueur et par lequel une matière première circule.



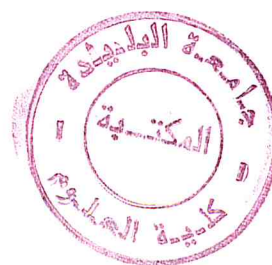
**Unité cartographique (map units) \*** : Unité de mesure (ex : pied, mile, mètre, kilomètre ...) dans laquelle sont stockées les coordonnées des données spatiales.



**Visual Basic for Application (VBA) \*** : Langage de programmation dérivé de Visual Basic qu'on retrouve dans les logiciels SIG. VBA est un langage de macro programmation permettant de personnaliser et de développer de nouvelles fonctions.



**Zone tampon (buffer) \*** : C'est une zone mesurée à partir d'un point, d'une ligne ou d'un polygone (aire).



(\*) : Support de cours et exercices pratiques, ArcGIS, centre de formation, ESRI France, 2001.

(\*\*) : Réseau National des Données sur l'Eau, Réseau de bassin Rhône Méditerranée Corse, L'agence de l'eau RMC, France, 2003.