

Table des matières

TABLE DES MATIERES I

SIGLES ET ACRONYMES III

REMERCIEMENTS IV

LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES VII

INTRODUCTION 1

CHAPITRE 1 : GENERALITES SUR LES SYSTEMES D'INFORMATION GEOGRAPHIQUES (SIG)...3

1-1- HISTORIQUE DES SIG 3

1-2- QUELQUES DEFINITIONS DES SIG 3

1-3- OBJECTIFS DES SIG 4

1-4- FONCTIONNALITES DES SIG 5

1-4-1. Acquisition des données 5

1-4-2. Gestion des données 5

1-4-3. Manipulation des données 5

1-4-4. Traitement 6

1-4-5. Restitution 6

1-4-6. SIG et base de données relationnelles 6

1-5- DOMAINES D'APPLICATION 7

1-6- SCIENCES ASSOCIEES AUX SIG 7

1-6-1. Télédétection 7

1-6-1-1. Photogrammétrie 7

1-6-1-2. Télédétection spatiale 9

1-6-2. Cartographie 9

CHAPITRE 2 : LA GESTION INTEGREE DES RESSOURCES EN EAU (GIRE)..... 11

2-1- DEFINITION 11

2-2-	RAISON D'ETRE DE LA GIRE	12
2-3-	IMPORTANCE DE LA GIRE.....	13
2-3-1-	Au niveau de l'environnement.....	13
2-3-2-	Au niveau agricole.....	13
2-3-3-	Au niveau de l'AEPA	14
2-3-4-	Au niveau industriel	14
2-4-	DOMAINE D'APPLICATION OU DE MISE EN ŒUVRE DE LA GIRE.....	14
2-3-5-	Au niveau du bassin versant.....	14
2-3-6-	Au niveau des cours d'eau	15
	CHAPITRE 3 : RELATION ENTRE LA GIRE ET LES SIG	16
3-1-	SIG, UN OUTIL D'AIDE A LA DECISION.....	16
3-1-1-	SIG, Gestion et protection des eaux souterraines urbaines : cas d'étude N° 1.....	16
	Contexte	16
3-1-2-	SIG, étude et gestion des Ressources en eau dans une région aride : cas d'étude N°2.....	21
3-1-3-	Architecture général d'un système national d'information sur l'eau au Burkina Faso : cas d'étude N° 3....	27
	Contexte	27
3-1-4-	SIG et gestion d'un périmètre irrigué : cas d'étude N° 4.....	32
	CONCLUSION.....	37

Bibliographie

Sigles et acronymes

CNIEau : Centre National d'Information sur l'Eau

CNIG : Conseil National de l'Information Géographique

CURAT: Centre Universitaire de Recherches et d'Applications en Télédétection

ESRI: Environmental System Research Institute

FICCDC: Federal Inter Coordinated agencies Comity for Digital Cartography

GIRE : Gestion Intégrée des Ressources en Eau

LSTEE : Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement

LR3E : Laboratoire Eau, Energie et Environnement de Ecole Nationale d'Ingénieurs de Sfax

ONEA : Office National de L'eau Et de L'assainissement

SFPT : Société Française de Photogrammétrie et de Télédétection

SIG : Système d'Information Géographique

SNIEau : Système National d'Information sur l'Eau

Remerciements

Pour ce projet qui met fin à une année de formation, mes remerciements vont d'abord au Tout Puissant, Seigneur des Cieux et de la Terre qui m'a permis d'avoir la force et la santé nécessaire pour aller jusqu'au bout de cette année. A celui en qui il n'y a aucune ombre de variation soit la Gloire, la Puissance, la Majesté aux siècles des siècles par son fils Jésus-Christ Sauveur du monde, Amen.

Nous remercions tout d'abord M. Paul Gines, DG de cette prestigieuse école qu'est le 2^{ie} pour tout le travail abattu en vue de promotion des compétences de l'école, mais aussi de la compétence des étudiants qui en sortent. Merci également pour la qualité de l'enseignement et de la formation.

Je profite de cette occasion pour remercier tous nos enseignants avec à leur tête les Docteurs H. YACOUBA et H. KARAMBIRI pour le savoir qu'ils nous ont transmis avec courage et sérieux. Qu'ils trouvent ici l'expression de mes sincères remerciements.

Je remercie très sincèrement la dynamique Mme C. KEDOWIDE, pour avoir guidé mes premiers pas dans le domaine des SIG appliqués à l'eau.

Nous tenons à remercier tout particulièrement Mme Jeanne NEBIE, pour sa disponibilité à l'égard des étudiants.

Que la première promotion de la GIRE, promotion 2007-2008, avec à sa tête le délégué KOUAKOU K. Marcellin, trouve ici l'expression de ma profonde gratitude. Puisse le Tout Puissant nous assister et nous bénir pour la suite de notre de séjour sur terre. Et que la GIRE, de par nos compétences acquises et au travers de nous soit une réalité dans nos pays respectif.

Je tiens à remercier tout particulièrement mes amies BOTONGHO P., KABORE M. et BOUKOUNGOU A. qui par leur amitié et soutien m'ont permis de passer un séjour agréable loin de ma famille.

C'est aussi le lieu de remercier la famille TAMALGO, qui m'a accueilli à bras ouverts dans sa modeste demeure, pour son hospitalité et sa gentillesse.

Que tous ceux qui m'ont soutenu de près ou de loin, financièrement, moralement, matériellement ou plus encore en prière, trouve ici l'expression de ma plus profonde gratitude. Puisse le Seigneur Jésus vous le rendre au centuple.

Soyons tous bénis !!!

Résumé

Ces dernières décennies l'eau est au centre de toutes les préoccupations. L'homme s'est rendu compte que la ressource en eau est vulnérable et en plus de cela elle s'amenuise avec le temps. En face de cette baisse on note une croissance marquée de la population. Ce qui a pour conséquence une augmentation des besoins liés à l'eau. Les usages sont multiples et concernent les domaines clés du développement : l'industrie, l'agriculture, l'AEP, etc. Au vue de cette situation, une nouvelle approche concernant la gestion de la ressource en eau a été préconisée. L'on se doit maintenant de gérer l'eau en tenant compte de tous ses usagers. On parle à ce moment de GIRE : Gestion Intégrée des Ressources en Eau.

Une telle gestion qui doit tenir compte de tous doit disposer d'un outil adéquat et efficace lui permettant de rassembler les concernés, qu'ils soient experts ou simples utilisateurs, autour d'une plateforme. Les SIG apparaissent comme cet outil.

En effet, les SIG ont un caractère intégrateur. Ils ont la capacité, grâce à leurs systèmes de gestion de base de données, de stocker des données, de les manipuler, les traiter et les restituer en vue d'offrir une meilleure perception des problèmes liés à l'eau afin d'y apporter les solutions adéquats pour la durabilité de la ressource.

Pour illustrer notre point de vue des cas pratiques pris dans la littérature ont été cité en exemple. Le premier concerne la vulnérabilité des nappes phréatiques des grandes villes africaine, particulièrement celle d'Abidjan qui est soumise à de fortes pressions. Des zones vulnérables à la pollution urbaine ont pu être mises en évidence. Cela permettra aux décideurs de prendre les précautions appropriées pour protéger cette ressource. Les SIG sont donc un outil d'aide à la décision. Le second exemple concerne l'évaluation et la gestion de l'eau dans une zone aride. A ce niveau, au travers des SIG, les auteurs de l'étude sont parvenus à évaluer les ressources en eau et les besoins pour faire un bilan entre ce qui entre et ce qui du système hydrogéologique considéré. Cela a aboutit à la mise en place d'un modèle pour faciliter l'analyse spatiale des phénomènes hydrogéologiques et leur évolution dans le temps et en fonction de l'enrichissement de la base de données. Le troisième exemple est une présentation et une analyse du SNIEau du Burkina Faso. Le dernier cas quand à lui est application des SIG dans la gestion d'un périmètre irrigué au niveau de la vallée de Kou au Burkina. Lequel périmètre est au centre d'une situation concurrentielle et conflictuelle liée à l'utilisation de la ressource en eau.

A la fin de notre analyse, nous sommes parvenus à la conclusion selon laquelle les SIG sont un outil d'aide efficace pour la mise en œuvre de la GIRE, car ils aident à la prise de décision.

Mots clés : SIG, GIRE, Outil d'aide à la décision.

Liste des tableaux et figures

Tableau 1 : Méthode de collecte de données	22
Figure 1 : Méthodologie de l'étude	17
Figure 2 : La carte de sensibilité à la pollution de la nappe d'Abidjan (source étude du LSTEE et du CURAT).....	19
Figure 3 : La carte de susceptibilité à la pollution de la nappe d'Abidjan (source étude du LSTEE et du CURAT).....	19
Figure 4 : La carte de vulnérabilité de la nappe d'Abidjan (source étude du LSTEE et du CURAT).	20
Figure 5 : Géoréférencement sous Arcview.....	23
Figure 6 : Réseau hydrographique de la région de Régueb	24
Figure 7 : Carte géologique de la région de Régueb.....	24
Figure 8: Répartition spatiale des points d'eau de la région de Régueb	25
Figure 9 : Model hydrogéologique du Bassin de Bled Regueb.	26
Figure 10 : Ossature du SNIEau du Burkina (SNIEau, 2004).	29
Figure 11 : Usages concurrentiels de la ressource en eau : Bassin versant du kou.	33
Figure 12 : Périmètre irrigué de la vallée du Kou (Bobo-Dioulasso).....	33
Figure 13 : Parcelles non rentables pour la riziculture.	34
Figure 14 : Parcelles adaptées à la pratique du riz.	35

Introduction

Ces dernières années, les ressources en eau sont sous fortes pressions. Les populations augmentent très rapidement et avec elles, les besoins en eau des différents secteurs d'activités. Il faut avoir l'eau pour l'agriculture, l'eau pour l'industrie, pour la consommation domestique, pour l'élevage, etc. Ces différents secteurs doivent donc se partager une ressource qui est limitée et vulnérable.

Des tensions naissent de ces usages concurrentiels et sectoriels de la ressource, que ce soit à l'intérieur même d'un Etat ou entre des Etats qui se partagent une même ressource. L'eau se situe donc au cœur des préoccupations des populations. Aussi s'avère-t-il nécessaire de mener une gestion rigoureuse et cohérente afin de minimiser les risques de conflits. D'où la nécessité de la gestion intégrée des ressources en eau.

La gestion intégrée des ressources en eau est apparue avec le concept de développement durable qui a été défini par le rapport Brundtland (1987) et réaffirmé à la conférence de Rio (1992) et impose en qui concerne l'eau :

- De gérer les ressources en eau comme un patrimoine commun, en intégrant dans l'ensemble des utilisations actuelles le concept de solidarité envers les générations futures ;
- De prendre en compte la gestion des écosystèmes et la vie de tout ce qui s'y développe ;
- De renforcer la notion d'aménagement du territoire dans lequel les ressources naturelles, et l'eau en priorité, seraient prises en compte ;
- D'adopter une approche prospective de la ressource qui précède l'approche curative de la pollution des eaux.

Cette approche nouvelle de la gestion des ressources en eau vise à minimiser au plus les pertes et à réduire les usages non productifs. Elle vise également la protection de la ressource tout en satisfaisant les besoins essentiels de la société dans son ensemble.

Mais force est de constater que la mise en œuvre de la GIRE n'est pas toujours aisée et elle rencontre des difficultés dans la pratique. Les décisions prises par les autorités ne tiennent pas toujours compte des réalités liées à la ressource. Elles sont souvent en déphasage avec les données sur le terrain et n'ont pas une vision d'ensemble de la ressource. Chose que préconise la GIRE. Cette situation est due pour la plus part des cas à la méconnaissance de la ressource et des données qui lui sont rattachées,

telles que la quantité, la qualité, mais aussi la répartition spatiale ainsi que toutes les activités anthropiques qui peuvent avoir une influence sur celle-ci.

Face à cette situation, les SIG apparaissent comme l'outil indispensable et approprié. En effet, les systèmes d'information géographique permettent d'intégrer un nombre important de données et ceci sur la même plateforme pour avoir une meilleure perception des résultats de croisement et d'intégration de l'ensemble de ces données, facilitant de ce fait la prise de décisions et la communication avec les publics.

Pour illustrer nos propos, nous présenterons notre travail en trois parties. La première partie sera consacrée au concept des SIG. Ensuite suivra en deuxième lieu la présentation de la GIRE. Pour finir, la troisième partie sera consacrée à des cas pratiques qui montrent l'apport des SIG à la prise de décision en ce qui concerne la mise en œuvre de la GIRE.

Chapitre 1 : Généralités sur les Systèmes d'Information Géographiques (SIG)

1-1- Historique des SIG

On cite souvent comme première application des SIG l'étude menée avec succès par le docteur John Snow pendant l'épidémie de choléra dans le quartier de Soho à Londres en 1854. En effet, il représenta sur un plan la localisation des malades et l'endroit où ils puisaient leur eau ; ce qui lui permit de déterminer le foyer de contamination qui n'était que l'eau d'un certain puits. Depuis lors, les SIG ont évolué grâce à l'avancée technologique au niveau de l'informatique, encouragé par la prise de conscience environnementale et de nouvelles approches scientifiques pluridisciplinaires, intégratrices (Anonyme 1, 2008).

Le terme Système d'Information Géographique a été utilisé pour la première fois par R.F. TOMLINSON, quand il a installé un système d'information, se référant à un espace, pour le compte du Canada en 1963 (utilisation de l'ordinateur pour le traitement des données se référant à un espace). Mais la notion de SIG en elle même n'est pas récente. Déjà dans l'antiquité les informations faisaient déjà l'objet d'une représentation sur un support : la carte. Les géomètres, les navigateurs et les militaires utilisaient la carte pour représenter les caractéristiques de leurs informations géographiques. Mais, ce n'est qu'au 18^e siècle que les gouvernements européens se rendent compte de la nécessité de cartographier les terres pour en gérer l'exploitation. Au 20^e siècle, avec l'essor de la science et de la technologie, la quantité d'informations intégrée dans la carte va connaître un accroissement. Depuis le développement des techniques de reconnaissances, comme la photographie aérienne et la télédétection, il s'est produit une véritable explosion en matière de production de données géographiques. Ces dernières sont alors plus largement utilisées et permettent des analyses plus sophistiquées (Anonyme 2, 2008).

1-2- Quelques définitions des SIG

En ce qui concerne les SIG, plusieurs définitions ont été données, vu qu'il s'agit d'un domaine d'application encore jeune. Ils intègrent plusieurs composantes et se développent dans divers pays en empruntant des fois des trajectoires différentes.

Les SIG peuvent être définis comme étant un système constitué de matériels informatiques, logiciels, personnel qualifié et un ensemble de procédures et permettant la saisie, la gestion, le stockage, la manipulation ou analyse, la modélisation, l'affichage et l'édition de données géoréférencées pour

résoudre des problèmes complexes d'aménagement et de gestion (définition selon FICCDC). Pour le CNIG, c'est un ensemble de données géographiques, structuré de manière à pouvoir extraire des informations ou synthèses d'informations utiles pour la prise de décision. On peut aussi retenir la définition de la SFPT qui définit les SIG comme étant des outils 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 contribuant à la gestion de l'espace et même des ressources. C'est aussi un ensemble organisé de matériel informatique, de logiciels, de données géographiques et de personnel visant à saisir, stocker, maintenir, manipuler, analyser et afficher de façon efficace toutes les formes d'informations géographiques à référence spatiale. (ESRI).

D'autre part, un système d'information géographique peut être défini comme un environnement de gestion et d'exploitation d'une information à caractère spatial. Cet environnement permet l'exploitation des dimensions thématiques, spatiales et temporelles de l'information à des fins de description, d'analyse et de prévision de la réalité considérée (Collet, 1992 in A. MARTINEZ, 2003).

En synthèse, nous pouvons dire que le SIG est un outil qui, grâce à l'informatique, permet de stocker de nombreuses données localisées de sources variées, de mieux les structurer, de les croiser, de les analyser et de les restituer sous forme graphique ou cartographique en fonction du but ou besoins visés ((Conchita Kédowidé, 2008, note de cours).

1-3- Objectifs des SIG

Les SIG se caractérisent par les objectifs suivants :

- ✓ La capacité de traitement de grosses quantités hétérogènes de points géolocalisés;
- ✓ La possibilité de tri et d'accès à des données en fonction de leur existence, position, attributs parmi un grand nombre d'objets géolocalisés par l'intermédiaire de requêtes ;
- ✓ La capacité d'interactivité de ces requêtes ;
- ✓ La flexibilité : concevoir l'accès concurrent de plusieurs utilisateurs sur des mêmes données et à des niveaux différents ;
- ✓ La capacité du système à tenir compte des requêtes et règles antérieures pour le traitement de données ultérieures.

1-4- Fonctionnalités des SIG

Le fonctionnement des SIG tourne autour de cinq principaux axes qui sont l'acquisition, la gestion, la manipulation, le traitement et la restitution des données.

1-4-1. Acquisition des données

Cette fonctionnalité se traduit à travers plusieurs possibilités. Elle part ainsi de la digitalisation, à la photographie aérienne en passant par le scannage, la saisie au clavier, les importations de fichier, etc. Cette acquisition de données peut se faire en format raster, vecteur ou par la conversion de données existantes. C'est donc l'étape d'entrée des données dans le système pour une gestion et un traitement en vue de servir à la maîtrise d'une situation pour pouvoir prendre la décision éclairée.

1-4-2. Gestion des données

L'information traitée par les SIG, pour être utile doit être pertinente pour l'objectif assigné, fiable, exacte, complète, décrite, etc. La structuration des données est une formalisation des données géographiques, attributaires ou spatiales en vue des traitements ultérieurs. Il s'agit de la manière à organiser l'entrée des données en machine en vue de leur exploitation plus efficace et ceci en fonction des buts et objectifs visés. Cette structuration se fait en fonction de certaines contraintes informatiques (algorithmes, SGBD disponibles, etc.), thématiques (les traitements possibles, etc.) et cartographiques. Les SIG ont plusieurs possibilités pour structurer les données descriptives, pour les gérer, pour organiser les données graphiques :

- Utilisation d'un fichier dans un tableur pour décrire les données
- Utilisation d'une base de données
- Organisation des données graphiques en couches
- Division des couches de données graphiques en dalles

1-4-3. Manipulation des données

A ce niveau, il s'agit des fonctions de transformation des données sans créer de nouvelles connaissances. La manipulation concerne aussi les agrégations, la généralisation, la restructuration et l'extraction. L'on a la :

- Transformation des données géométriques ou attributaires ;
- Agrégation spatiale et attributaire ;
- Transformation vecteurs/raster ;

- Extraction.

1-4-4. Traitement

C'est le domaine de la gestion de la base de données du SIG, ce qui différencie ce dernier des logiciels CAO et DAO. Les traitements concernent les analyses spatiale et thématique à travers des calculs, requêtes, des opérateurs spatiaux.

Les fonctions d'analyse spatiale permettent le croisement de plusieurs couches topologiques tout en conservant la cohérence globale de la base et en respectant les contraintes liées aux relations topologiques. Cela permet de générer de nouvelles informations. Cela constitue un plus pour les SIG.

1-4-5. Restitution

C'est la dernière étape du processus d'élaboration des SIG. Il s'agit ici de la mise en valeur des résultats, la communication avec les utilisateurs et la sensibilisation. La restitution de l'information géographique stockée dans les bases de données peut se faire sous différentes formes :

- Visualisation sur écran graphique (images, vues 3D, cartes, animations, fichiers, etc.)
- Sous forme de tableaux de données, de rapports, etc.
- Sous forme de carte ou collections de cartes, etc.

Au sortie de ce paragraphe, il faut retenir que les SIG, pour qu'ils fonctionnent ont besoin de données. Sans données aucun SIG ne peut fonctionner et permettre de pouvoir avoir une idée claire sur des phénomènes en vue de solutions appropriées (Conchita Kédowidé, 2008, note de cours).

1-4-6. SIG et base de données relationnelles

Les SIG repose sur des données. Il est donc nécessaire de les organiser, les structurer pour les restituer efficacement. D'où l'importance des Système de Gestion de Base de Données, car ce sont des outils efficaces pour la saisie, le stockage, l'interrogation afin de pouvoir bien organiser les informations. Une base de données est un ensemble d'informations organisées et mises à la disposition des utilisateurs et un SIG est une base de données à référence spatiale. Les informations utilisées par les SIG doivent donc être bien organisées ou structurées pour faciliter leur exploitation. Cette base de données que sont les SIG présente des caractéristiques que sont entre autres la non redondance, la fiabilité, la cohérence, l'intégrité, etc (Anonyme 2, 2008).

1-5- Domaines d'application

Les SIG s'appliquent pratiquement à tous les domaines ; selon la thématique et selon les besoins, ils arrivent à produire et à adapter les produits nécessaires pour une aide de prise de décision ou autre.

Nous pouvons citer par exemple :

- Aménagement du territoire où les SIG peuvent servir à produire des plans d'occupation des sols, des choix de tracé routier, des études d'impacts, etc ;
- Gestion urbaine par la gestion de la voirie, des réseaux de distribution, des espaces verts, du patrimoine, etc ;
- Agriculture où les permettrons de gérer la ressource en eau, le suivi des récoltes, etc ;
- Protection de l'environnement par la définition des zones sensibles, le suivi des alertes aux pollutions, la protection des paysages ;
- Risques naturels et technologiques par la définition et le suivi des zones à risques, prévention des catastrophes ;
- Etc.

1-6- Sciences associées aux SIG

Pour la réalisation d'un SIG, divers sciences sont utilisées. Ces sciences permettent pour certaines l'acquisition des données et pour d'autres la restitution de ces dernières. Au nombre de ces sciences, nous avons :

1-6-1. Télédétection

Selon Lillesand et Kiefer (1994), la télédétection est l'ensemble des techniques permettant d'obtenir de l'information sur un objet, un territoire ou un phénomène graphique à travers l'analyse des données acquises à distance sans contact direct avec cet objet, ce territoire ou ce phénomène géographique. Elle est subdivisée en deux parties qui sont l'imagerie spatiale et la photogrammétrie (SIG et télédétection appliqués à la gestion des ressources en eau, cours GIRE).

1-6-1-1- Photogrammétrie

La photogrammétrie est une technique par laquelle les coordonnées en trois dimensions des points d'un objet sont déterminées par des mesures faites sur une ou plusieurs images photographiques prises à partir de positions différentes. Elle a donc pour but de localiser et de restituer de façon précise les caractéristiques géométriques (forme, dimensions, orientations relatives) d'un objet à partir d'une ou plusieurs images.

La photogrammétrie a fortement évolué depuis sa première application réalisée par Aimé Laussedat en 1849 à partir d'un bâtiment élevé. Plus tard, l'on a mis à profit les avions dans la photogrammétrie : on parle de photographie aérienne (Anonyme 4,2008). Pendant très longtemps, cette méthode utilisait le principe de la vision stéréoscopique pour réaliser la correspondance entre les points homologues de deux prises de vue successives. C'est une vue tridimensionnelle qu'on obtient lorsqu'on visualise les deux photos chevauchantes appelée couple stéréoscopique à l'aide d'un stéréoscope.

Les points communs sont identifiés sur chaque image. Une ligne de vue (ou rayon) peut être construite de la position de l'appareil photographique au point de l'objet. C'est l'intersection de ces rayons (triangulation) qui détermine la position tridimensionnelle du point. Des algorithmes plus élaborés peuvent exploiter d'autres informations sur la scène connues a priori (par exemple, les symétries dans certains cas permettant la reconstruction de coordonnées tridimensionnelles à partir d'une seule position de l'appareil photographique).

Malgré les avantages de certaines de ces méthodes qui permettent de travailler sur des appuis naturels, les deux principaux inconvénients de la photogrammétrie stéréoscopique résident dans le temps de restitution des résultats de mesure qui peut être très long, et par le fait d'être obligé de réaliser des clichés parallèles pour que l'opérateur puisse visualiser les images en stéréoscopie. De ce fait, cette méthode est restée très longtemps en marge des applications industrielles et ne s'impose que par défaut d'autres méthodes 3D. Grâce aux moyens de calcul de plus en plus rapides, complexes, le principe de la photogrammétrie a fortement évolué. Dès qu'il a été possible de traiter les clichés individuellement par des procédés semi-automatiques, dans la plupart des opérations industrielles, le principe de la stéréoscopie a été abandonné au profit de la prise de vue convergente. Les avantages apportés par cette nouvelle technologie sont indéniables :

- Traitement en temps quasi réel
- Facilité de la prise de vue et du traitement, ce qui conduit les opérateurs à multiplier les points de vue (d'une mesure avec 10 à 12 clichés argentiques, on passe facilement à des mesures à 60, voire 100 images)
- Simplification des procédures de reconnaissance de cible, grâce à des traitements d'image adaptés

De ce fait, la photogrammétrie s'est rapidement imposée comme une méthode de mesure 3D de l'industrie, dès lors que les surfaces à contrôler sont complexes, que le niveau d'incertitude requis est faible et que la rapidité de la saisie est essentielle.

La photogrammétrie est donc un outil d'acquisition de données en SIG. Elle permet de pouvoir disposer d'informations spatiales sur les objets étudiés et intégrés au système, lesquelles informations sont stockées pour être analysées et traitées (SIG et télédétection appliqués à la gestion des ressources en eau, cours GIRE).

1-6-1-2- Télédétection spatiale

Dans la pratique la notion de télédétection fait beaucoup plus appel à l'imagerie satellitale (spatiale). Cette dernière technique consiste en l'acquisition des données à partir de l'espace par des satellites munis capteurs, d'instrument de prise de vue.

L'imagerie spatiale permet donc d'avoir les données numériques sur les objets terrestres étudiés. Ces données peuvent être obtenues avec différentes niveaux de résolutions : basse (1 à 5 km), haute résolution (10 à 30 m) et très haute résolution (environ 1m) ; les temps d'acquisition variant généralement entre 30 min et 20 jours.

L'imagerie spatiale est aussi une source de données pratique et précise pour les des applications faisant appel à des données sur la surface de la terre et des océans ou sur l'atmosphère spécialement quand les données sont nécessaire souvent et rapidement.

Pour clore ce chapitre, nous pouvons dire que la télédétection est un outil d'acquisition et de mise à jour de données pour les SIG. Mais pour être analysées et interprétées efficacement, les données de télédétection doivent être combinées avec d'autres données et informations.

1-6-2. Cartographie

Elle est définie comme l'ensemble des études et opérations scientifiques, artistiques et techniques intervenant à partir d'observations directes ou d'exploitations d'un document en vue d'élaborer des cartes, des plans et d'autres moyens d'expression ainsi que de les utiliser. Le résultat de la cartographie est bien sûr la carte.

La carte est une représentation géométrique, simplifiée et conventionnelles sur le plan, de phénomènes concrets ou abstrait définis en fonctions du but ou des données cartographiées on parlera de cartes topographiques ou de cartes thématiques. Simplement, on peut dire que la carte est une image réduite du paysage, produite selon des normes données, qui tire son utilité du fait qu'elle permet de remplir certaines fonctions, d'accomplir certaines actions ou décisions qui fondent l'utilité sociale. Les cartes sont de nature variées et on peut les classifier en fonction de :

 La nature du contenu

- Carte topographique
- Carte thématique qui comprend la carte d'inventaire ou descriptive, la carte de traitement ou d'analyse, la carte d'information (carte « message ») et carte de synthèse (ou toponymie).

 La nature et la valeur du document

- Carte de base
- Carte dérivée
- Carte dérivée

Et d'après plusieurs autres critères dont l'échelle, les projections, etc.

En ce qui concerne la cartographie, nous pouvons retenir qu'elle est un outil de restitution de l'information collectée après l'avoir traitée et croisée. Elle a beaucoup évolué à cause de l'apport de l'informatique et de la technologie. Elle peut être considérée comme la finalité des SIG puisqu'elle permet de faire une synthèse de tout ce qui a été collecté et de le mettre en image en vue d'une interprétation (photogrammétrie et cartographie, cours GIRE).

Chapitre 2 : La Gestion Intégrée des Ressources en Eau (GIRE)

2-1- Définition

Plusieurs définitions ont été données à la GIRE. Pour le Partenariat Mondial de l'Eau (2000), la GIRE est un processus qui encourage la mise en valeur et la gestion coordonnée de l'eau, des terres et des ressources associées en vue de maximiser de manière équitable le bien-être économique et social qui en résulte d'une manière équitable, sans compromettre la durabilité des écosystèmes vitaux (GWP).

Quand à Hofwegen et Jaspers (1999) c'est un processus d'attribution de fonctions à des systèmes d'eau d'établissement de normes, de mise en vigueur (surveillance) et la gestion. Elle comprend la collecte de données, l'analyse de processus physiques et socioéconomiques, la considération des différents intérêts et la prise de décisions par rapport à la disponibilité, l'exploitation et l'usage des ressources en eau.

La GIRE est aussi une question de planification et de gestion coordonnées des terres, de l'eau et d'autres ressources naturelles en vue de leur utilisation équitable, efficace et durable (Définition de Calder, 1999).

Enfin, la GIRE, selon le RIOB (atelier de mars 2000) serait « un outil visant à utiliser durablement l'eau pour répondre aux différents besoins, en permettant à la fois :

- de lutter contre les catastrophes naturelles et les risques d'érosion, d'inondation ou de sécheresse, en prenant en compte gestion de l'eau et de l'espace;
- de satisfaire de façon fiable les besoins des populations urbaines et rurales en eau potable de qualité, afin d'améliorer l'hygiène et la santé, et de prévenir les grandes épidémies;
- d'assurer la suffisance agroalimentaire par l'assainissement des terres agricoles et l'irrigation appropriée;
- de développer de manière harmonieuse l'industrie, la production énergétique, la pratique des loisirs et les transports par voie d'eau;
- de prévenir et de combattre les pollutions de toutes origines et de toutes natures, afin de préserver les écosystèmes aquatiques, notamment en vue de protéger la faune et d'optimiser la production piscicole pour l'alimentation, de satisfaire les besoins des différents usages et de façon plus générale préserver la biodiversité des milieux aquatiques. » (Concept GIRE, cours 2007)

2-2- Raison d'être de la GIRE

La gestion intégrée des ressources en eau est un concept logique et séduisant. Sa base est que les utilisations des ressources en eau, aussi nombreuses et différentes soient-elles, sont interdépendantes. Ceci est évident pour nous tous.

De fortes demandes en irrigation et des flots de drainage fortement pollués signifient moins d'eau douce pour la boisson ou pour l'utilisation industrielle; les eaux usées municipales et industrielles contaminées polluent les fleuves et menacent les écosystèmes; si on doit laisser de l'eau dans un fleuve pour protéger la pêche et les écosystèmes, on pourra en prélever moins pour la production agricole. Il y a une abondance d'exemples par rapport à ce thème de base pour soutenir que l'utilisation non régulée des ressources en eau rares est un gâchis et en soi non durable.

Gestion Intégrée veut dire que toutes les différentes utilisations des ressources en eau sont prises en compte. Les attributions et les décisions de gestion de l'eau prennent en compte les effets de chaque utilisation sur les autres. Elles sont en mesure de tenir compte des objectifs sociaux et économiques globaux, y compris la réalisation du développement durable. Ceci signifie également assurer une prise de décision politique logique liée à tous les secteurs. Car le concept GIRE est élargi à la prise de décision participative. Différents groupes d'utilisateurs (paysans, communautés, écologistes ...) peuvent influencer les stratégies de gestion et de mise en valeur des ressources en eau. Cela apporte des avantages additionnels, car les utilisateurs avisés appliquent une autorégulation locale par rapport aux questions telles que la conservation de l'eau et la protection du bassin bien plus efficacement que la réglementation et la surveillance centralisées ne peuvent réaliser.

La Gestion est employée dans son sens le plus large. Elle souligne que nous devons non seulement nous concentrer sur la mise en valeur des ressources en eau mais que nous devons gérer consciemment la mise en valeur de l'eau de manière à assurer son utilisation durable à long terme pour les générations futures.

La gestion intégrée des ressources en eau est donc un processus systématique pour le développement durable, l'attribution et le suivi de l'utilisation des ressources en eau dans le contexte des objectifs sociaux, économiques et environnementaux. Elle diffère de l'approche sectorielle qui s'applique dans de nombreux pays. Quand la responsabilité de l'eau potable repose sur une agence, sur une autre pour

l'irrigation et encore une autre pour l'environnement, le manque de relations intersectorielles entraîne une gestion et une mise en valeur non coordonnées des ressources en eau, ayant pour résultat des conflits, du gaspillage et des systèmes non durables (pollution-protection des ressources en eau, cours décembre 2007). Des interférences, voire des conflits de compétences, se produisent entre les organismes chargés de la gestion de l'eau au sein d'un même Etat. On a donc affaire à des organisations administratives non appropriées où l'on constate un chevauchement des différentes directions des ministères qui exercent dans le domaine de l'eau (NGUETORA, 1999).

2-3- Importance de la GIRE

L'importance de la GIRE se traduit par le fait qu'elle donne des avantages à plusieurs secteurs utilisant l'eau comme une matière première. Ces avantages sont aussi variés que les domaines d'activités.

2-3-1- Au niveau de l'environnement

Les avantages environnementaux de la GIRE sont nombreux. En effet, ce type de gestion donne une voix aux besoins environnementaux dans le débat sur l'allocation de l'eau. Les besoins des écosystèmes ne sont pas toujours pris en compte à table de négociation. Par la sensibilisation des autres acteurs, les besoins des écosystèmes pourront être estimés et incorporés dans la planification et la prise de décision. Cela permettra protection des bassins (reboisement, lutte contre l'érosion), la lutte contre la pollution des ressources, le maintien des flux environnementaux.

2-3-2- Au niveau agricole

L'agriculture étant un maillon essentiel dans le développement de certains pays et une grande consommatrice d'eau. Elle est aussi une source importante de pollution des eaux souterraines et de surface. Mais par la GIRE, l'on peut arriver à non seulement à réduire les consommations de l'agriculture par des techniques d'économie d'eau, mais aussi à favoriser la réutilisation des eaux usées domestiques, municipales et même industrielle au niveau des parcelles agricoles. Tout ceci dans le but d'accroître la productivité de l'eau (c'est-à-dire plus de grains par goutte d'eau) dans les contraintes imposées par le contexte économique et social d'une région ou d'un pays donné.

2-3-3- Au niveau de l'AEPA

Au niveau de l'Approvisionnement en Eau Potable et Assainissement, la GIRE, si elle est appliquée convenablement aboutirait à la garantie de la sécurité de l'eau pour les populations non desservies.

En ce qui concerne l'assainissement, contrairement aux anciens systèmes d'assainissement, qui déplaçaient la pollution loin de villes et créaient de catastrophes dans les écosystèmes, la mise en œuvre de la GIRE se fera par des systèmes d'assainissement réduisant la pollution à la source, à l'endroit où elle se produit.

Pratiquement à un niveau local, l'intégration améliorée de la gestion des ressources en eau pourrait aboutir à des coûts considérablement réduits de prestation de services domestiques d'eau, si par exemple plus d'ouvrages d'irrigation étaient conçus avec une composante de l'eau domestique explicitement impliquée dès le début.

2-3-4- Au niveau industriel

Pour ce qui est de l'industrie, la GIRE permet de pouvoir réduire les quantités d'eau utilisées dans les processus de fabrication des produits. L'introduction de réutilisation de l'eau dans la chaîne de fabrication est une méthode qui permet de gaspiller l'eau. L'eau utilisée par exemple pour rincer les bouteilles peut être utilisée pour refroidir les machines ou même laver la matière première.

A cela on peut ajouter la réduction des rejets polluants. En effet, les résidus issus des procédés de fabrication, qui sont souvent dangereux, sont prétraités avant le rejet, soit dans la nature ou soit vers les stations d'épuration.

Autant d'élément qui fondent l'idée selon laquelle la GIRE représente un plus pour le monde industriel (Concept GIRE, cours 2007)

2-4- Domaine d'application ou de mise en œuvre de la GIRE

2-3-5- Au niveau du bassin versant

Par bassin versant, on désigne une étendue géographique dans laquelle toutes les pluies convergent vers une rivière, un étang, un lac ou une autre masse d'eau commune appelée exutoire. Toutes les utilisations de terres urbaines, rurales ou industrielles peuvent influencer la qualité et la quantité des eaux superficielles ou souterraines disponibles dans un bassin versant ou, être influencées par la

qualité et la quantité disponible dans le même espace. Il y a donc une interdépendance entre la ressource et les activités humaines qui y sont menées.

Le bassin versant est le territoire pertinent pour la GIRE indépendamment des frontières nationales ou administratives traversées. C'est l'espace où se posent les problèmes et où ils peuvent être réglés par consensus entre les acteurs de l'eau et de l'aménagement du territoire, en application du principe de subsidiarité, de gouvernance au niveau le plus proche du terrain.

La GIRE favorise l'émergence d'institution assurant le dialogue et l'arbitrage indispensable entre acteurs de la gestion de l'eau et du territoire du bassin. Elle s'appuie sur les outils techniques (réseaux de mesures, banques de données) indispensables à la connaissance de la ressource et sur des outils d'aide à la décision, notamment pour la planification des actions à mener sur le bassin (Concept GIRE, cours 2007).

2-3-6- Au niveau des cours d'eau

Les cours d'eau sont l'objet de beaucoup de convoitise et de par leur importance, sont source de conflit. Surtout lorsque l'on a affaire à des cours d'eau transfrontaliers. En effet les cours d'eau partagés sont à l'origine de heurts entre différents usagers qui peuvent être des Etats. Pour éviter donc les situations de conflits entre les différents usagers de ces cours d'eau, une gestion tenant compte des différents acteurs, de leurs besoins est nécessaire. Des conflits d'usage liés à l'eau et aussi des conflits liés à la protection de la ressource (Concept GIRE, cours 2007).

Chapitre 3 : Relation entre la GIRE et les SIG

3-1- SIG, un outil d'aide à la décision

L'élaboration d'une politique de gestion des ressources naturelles, les mesures à prendre pour la prévention de catastrophes ou pour l'atténuation de leurs effets ou même pour assurer une eau de qualité et en quantité à la population, suppose que l'on dispose de toutes les informations nécessaires à la prise de décision. Les décideurs ont besoin, quelque soit leur niveau de compétence d'un outil pouvant les aider dans leur prise de décision. Dans cette partie de notre étude, nous allons proposer et analyser des cas d'étude qui mettent en évidence le caractère outil d'aide à la décision des Système d'Information Géographique.

3-1-1-SIG, Gestion et protection des eaux souterraines urbaines : cas d'étude N° 1.

Le cas que nous pouvons citer en exemple est celui de la carte de vulnérabilité de l'aquifère alimentant la ville d'Abidjan en eau réalisée par un groupe d'experts. Le titre original de l'étude est « **Gestion et protection des eaux souterraines urbaines : apports d'un système d'information géographique à la réalisation de la carte de vulnérabilité de la nappe du continental terminal au niveau de l'agglomération d'Abidjan** ». Cette étude a été réalisée par l'équipe du Pr JOURDA au niveau du LSTEE et du CURAT d'Abidjan, Côte d'Ivoire. Elle a été présentée en 2003 à la Conférence Francophone ESRI, SIG 2003.

Contexte

Les eaux souterraines constituent la principale source des systèmes d'approvisionnement en eau des grandes villes africaines. Cependant, l'expansion rapide des villes et la forte croissance de la population en milieu urbain mettent une pression énorme sur cette ressource naturelle. Par ailleurs, l'utilisation des engrais, des pesticides et les effluents des systèmes d'évacuation, des fosses septiques, des usines et les déchets solides (dépotoirs) sont des sources principales de pollution des eaux souterraines en milieu urbain. Pour servir de sonnette d'alarme sur la vulnérabilité des aquifères à la pollution, des études de suivie des eaux souterraines sont initiés avec pour objectifs :

- développer des méthodologies pour une surveillance optimale de la contamination des aquifères superficiels et souterrains en milieu urbain ;

- proposer des options pour une meilleure sauvegarde des aquifères superficiels et souterrains en milieu urbain, y compris la réduction des problèmes de pollution et de santé ;
- produire la carte de vulnérabilité des eaux souterraines.

L'outil utilisé pour atteindre ces objectifs n'est autre que les SIG, car ceux-ci présentent tous les atouts et les capacités pour le stockage d'informations et la manipulation de celles-ci en vue de cerner tous les contours de la situation.

Méthodologie

Le schéma suivant résume la méthodologie utilisée pour la réalisation de l'étude permettant d'élaborer la carte de vulnérabilité.

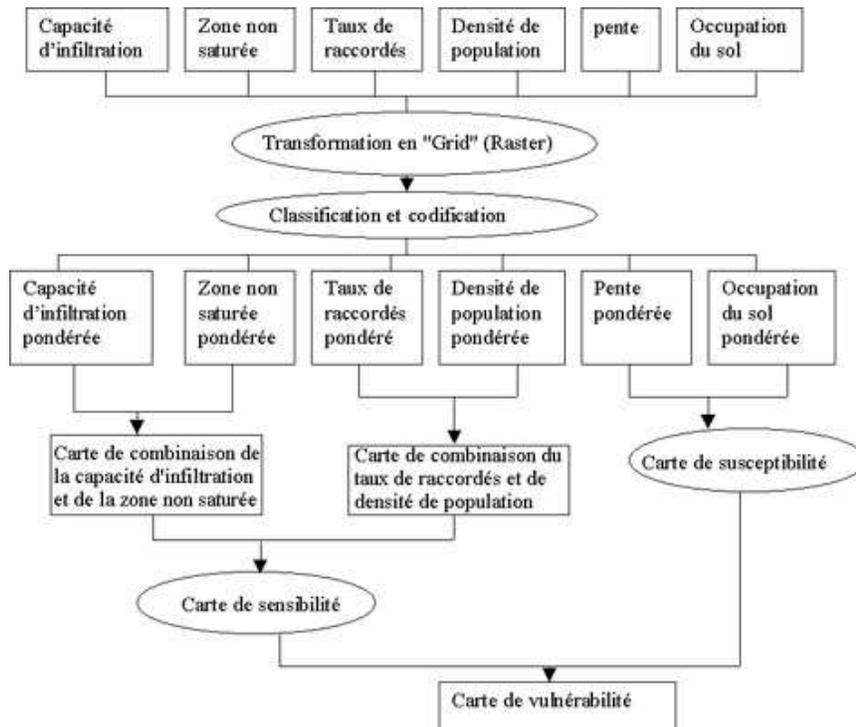


Figure 1 : Méthodologie de l'étude

L'élaboration de cette carte a nécessité la mise en place d'un SIG. Pour ce faire, les étapes suivantes ont été suivies :

- ✓ Collecte des données

Les données qui ont été utilisées pour la réalisation de ce travail concernent :

- La carte topographique de la région d'Abidjan au 1/50000 ;
- La carte piézométrique de la région d'Abidjan au 1/50000 ;
- La carte géotechnique de la région d'Abidjan également au 1/50000
- La population des différentes communes d'Abidjan (recensement 1998) ;
- Le taux raccordé au réseau collectif d'assainissement.

- ✓ Identification des facteurs de vulnérabilité

La vulnérabilité des nappes souterraines à la pollution est conditionnée par plusieurs facteurs. Pour cette étude les facteurs jugés importants sont : la pente, l'épaisseur de la zone non saturée, la capacité d'infiltration, le taux de raccordés au réseau collectif d'assainissement, la densité de population, l'occupation du sol, la pluviométrie.

- ✓ Préparation des différentes couches impliquées dans le SIG

Chaque facteur de vulnérabilité a été transformé en couche car le SIG est basé sur le principe de la superposition des couches et le croisement de celles-ci. Cela a permis la réalisation d'une Couverture des pentes, de celle Couverture de l'épaisseur de la zone non saturée, d'une Couverture de la capacité d'infiltration, de la Couverture du taux de raccordés au réseau d'assainissement, d'une Couverture de la densité de population, d'une Couverture de l'occupation du sol. Toutes ces couches constituent la base de données mise en place pour la réalisation de la dite carte de vulnérabilité.

- ✓ Classification et codification des couches

Cette étape a permis de classifier et de codifier les différentes couches qui ont été créées.

Résultats obtenus

A l'issue de différents traitements d'analyses spatiales et thématiques, des cartes de synthèse et d'analyse ont été réalisées afin de mettre en exergue l'état de la pollution du site d'étude. Les cartes présentent des zones susceptibles d'être polluées, des zones à risque et des zones sensibles à la pollution.

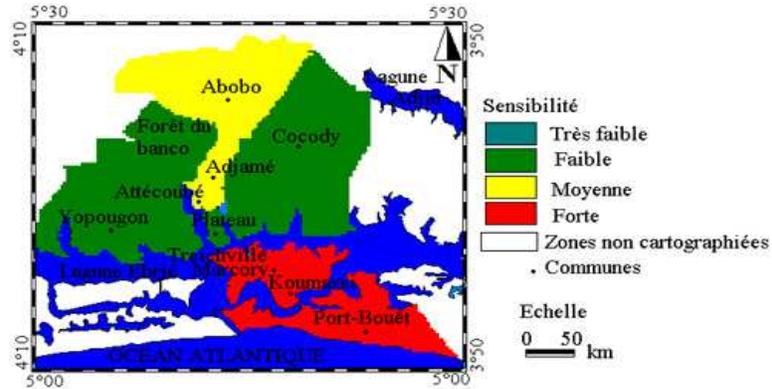


Figure 2 : La carte de sensibilité à la pollution de la nappe d'Abidjan
(Source étude du LSTEE et du CURAT)

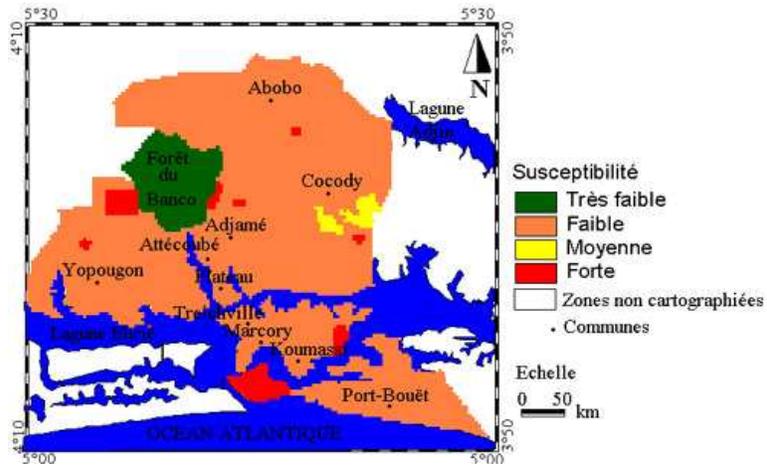


Figure 3 : La carte de susceptibilité à la pollution de la nappe d'Abidjan
(Source étude du LSTEE et du CURAT).

C'est la combinaison de ces deux cartes qui a permis d'avoir la carte de vulnérabilité de la ville d'Abidjan. Elle représente les zones de la ville en fonction de leur vulnérabilité à la pollution urbaine :

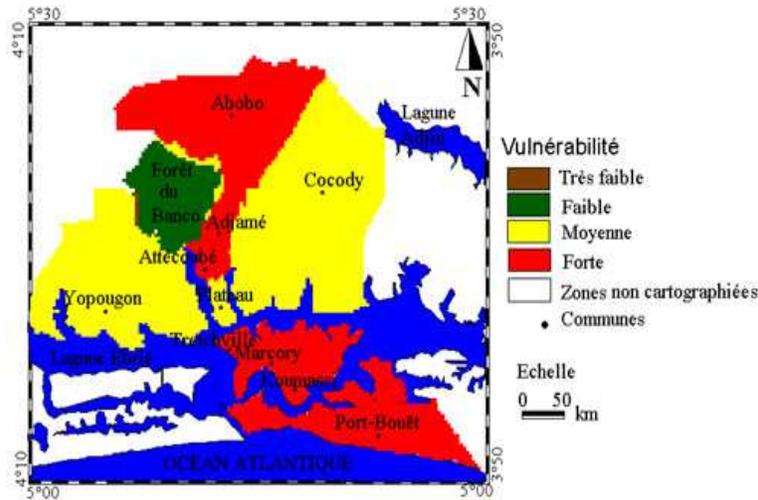


Figure 4 : La carte de vulnérabilité de la nappe d'Abidjan
(Source étude du LSTEE et du CURAT).

L'apport d'une telle étude est significatif dans la mesure où elle permet d'avoir un regard approfondi sur la ressource en eau souterraine en ce qui concerne le risque qu'elle court par rapport à la pollution au niveau des grandes villes africaines. En effet, au sorti de ce travail, la carte de vulnérabilité produite met en relief les zones de la ville qui présentent un risque quant à la pollution. Cela permettra aux autorités et autres décideurs de mesurer la gravité de la situation et de prendre les dispositions qui s'imposent afin de préserver les ressources qui sont menacées. Les éléments pris en compte pour pouvoir réaliser cette étude sont nombreux et englobent aussi bien des données sociales que des données hydrogéologiques. Ces éléments d'entrée vont permettre de juger des impacts des activités humaines sur le sous-sol.

Les traitements réalisés et le diagnostic obtenu au cours de cette étude permettront de mieux orienter les plans et programmes d'aménagement de la ville. Ces différents plans et programmes doivent se faire en tenant compte de la vulnérabilité de la ressource en eau. L'urbanisation et le développement de la ville doivent être accompagnés de systèmes d'assainissements adéquats qui permettent de protéger la nappe de la pollution. Car la protection de l'eau contre la pollution est un maillon essentiel de la GIRE en ce sens qu'elle favorise la durabilité de la ressource.

Mais, il est bon de noter que cette étude pour être complète doit prendre en compte les zones de recharge de la nappe et les spatialiser ainsi que le sens des différents écoulement afin de les coupler avec les autres informations pour une analyse et une interprétation plus complètes.

Cet aspect souligne le caractère fondamental de la disponibilité des données qui doivent alimenter le SIG pour le rendre efficace et pertinent dans son rôle de contributeur à la gestion et à la planification d'une problématique.

L'étude elle-même a été bien réalisée et la méthodologie de travail bien élaborée. La difficulté qui pourrait entraver la réalisation d'une telle étude pour toutes les régions ayant les mêmes caractéristiques est l'exigence financière. Dans le cas de la ville d'Abidjan, certaines étapes nécessitant 10000000 FCFA par mois n'ont pas pu être réalisées convenablement. Car pour ces étapes le projet fournissait 20000000 FCFA. Ce qui veut dire que le volet économique peut être un handicap pour mettre en place un SIG performant et rigoureux.

3-1-2- SIG, étude et gestion des Ressources en eau dans une région aride : cas d'étude N°2.

Cette deuxième illustration porte sur une étude visant l'amélioration de la gestion des ressources en eau dans une région soumise à un stress hydrique. Le thème de cette étude est « **Etude et gestion des Ressources en eau dans une région aride par le SIG : Cas de la région de Regueb - Sidi Bouzid – Tunisie** ». Elle a été réalisée le LR3E (Laboratoire Eau, Energie et Environnement de Ecole Nationale d'Ingénieurs de Sfax).

Contexte

Le problème des ressources en eau se pose avec acuité au niveau des zones arides. Au niveau de ces zones, la pluviométrie n'étant pas abondante, les quantités d'eau sont limitées. Empêchant ainsi le développement de certaines activités telles que l'agriculture, celle-ci étant fortement tributaire de l'eau.

Gérer l'eau dans de telle zone revient dans un premier temps à pouvoir évaluer la ressource disponible et les éventuelles consommations qui sont au niveau de la région. Cela permettra de mettre en adéquation la ressource et la demande afin de l'utiliser plus efficacement de manière à éviter tout gaspillage.

Une telle gestion nécessite une connaissance toujours plus détaillée des différents éléments du bilan d'eau et des processus hydrogéologiques: la ressource et la demande, leur distribution spatiale et temporelle et leur qualité, les pertes, leur impact sur la qualité de l'eau, ainsi que toutes les actions anthropiques qui peuvent avoir une influence sur le bilan d'eau.

Méthodologie

Une méthodologie de travail a été suivie pour pouvoir réaliser un SIG pouvant aider à l'évaluation et à la gestion des quantités disponible et consommée.

Elle s'est faite à travers les étapes suivantes :

- ✓ Collecte de données

Des données de sources diverses ont été collectés auprès de plusieurs organismes, sur terrain et par numérisation des cartes existantes (voir tableau). Ces données sont traitées sous une plate forme multi-logiciel (Access, ArcView et ArcGis...) afin d'élaborer une base de données hydrogéologiques (géodatabase). La manipulation, la mise à jour de ces données ainsi que la visualisation personnalisée des différents résultats est possible à partir de cette base.

Tableau 1 : Inventaire des données et mode d'acquisition numérique

Paramètres	Topologie	Mode d'acquisition	Origine
Topographie	Arc (Ligne)	Numérisation	Cartes Topo
Géologie	Polygone	Numérisation	Cartes Géo
Pédologie & texture du sol	Polygone	Numérisation	Cartes Pêdo
Hydrographie	Arc + Polygone	Numérisation	Cartes Topo
Tectonique	Arc	Numérisation	Cartes Géo
Végétation	Polygone	Numérisation	Cartes Topo
Points d'eau	Point + Polygone	Numérisation	Inventaire + INC+ Cartes Topo
Paramètres hydrodynamiques (T, CEm)	Arc	Numérisation + Interpolation	CRDA-SBZ
Limites administratives	Polygone	Numérisation	CRDA-SBZ
Réseau routier	Arc	Numérisation	Cartes Topo
Limites des nappes	Polygone	Numérisation	CRDA-SBZ
Chimisme des eaux	Arc + Point	Numérisation + Interpolation	CRDA-SBZ + Inventaire
Lithologie de la zone non saturée	Point (label)	Numérisation + Corrélation	CRDA-SBZ
Localités (Villes)	Point (label)	Numérisation	Cartes Topo
Climatologie	Point + Arc + Polygone	Numérisation + Interpolation	CRDA-SBZ

- ✓ géoréférencement et numérisation des cartes Le modèle numérique du terrain

Une numérisation des différentes cartes topographiques et géologiques a été faite sous ArcView. La digitalisation pour obtenir des couches vecteurs, a été précédée d'un géoréférencement des différentes cartes analogiques numérisées par scannage. Cette étape a permis d'assembler les différentes couches couvrant la zone d'étude. Elle a été réalisée sous Arcview (voir figure suivante).

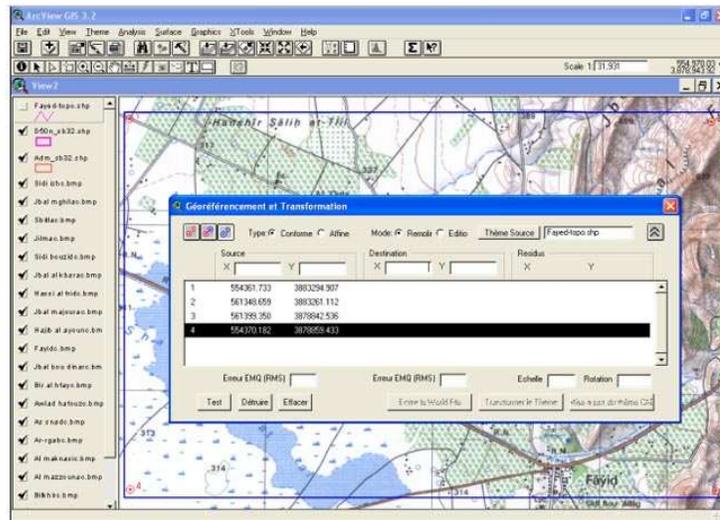


Figure 5 : Géoréférencement des cartes scannées sous Arcview.

- ✓ Elaboration du modèle numérique du terrain.

Il s'agit d'une représentation mathématique de l'altimétrie du terrain. Les altitudes en tout point sont calculées à l'aide d'un algorithme d'interpolation. Il permet de créer des cartes thématiques tels que les cartes d'isovaleurs, des vues tridimensionnelles, le calcul des volumes et des surfaces.

Résultats

Toutes ces étapes ont permis d'avoir comme résultats des cartes topographique, géologique, du réseau hydrographique, de répartition des points d'eau sous forme numérique ainsi qu'un Modèle Numérique de Terrain et un Modèle Hydrogéologique.

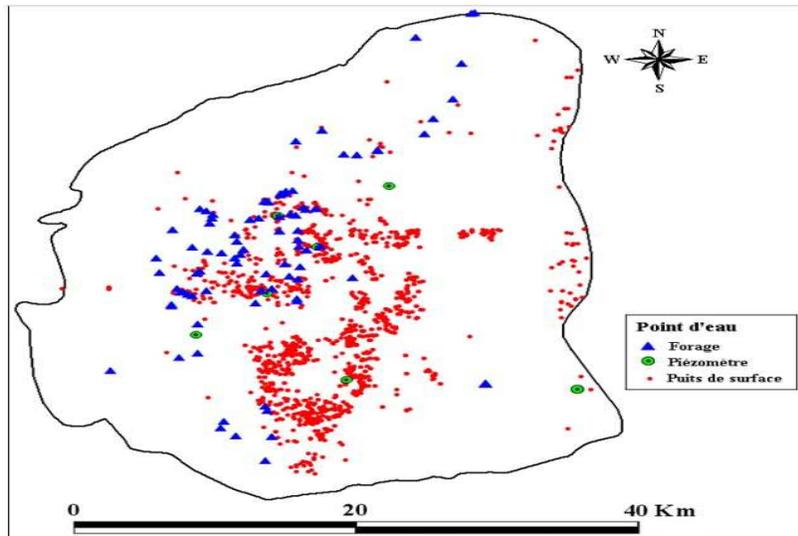


Figure 8: Répartition spatiale des points d'eau de la région de Régueb

Les informations sur la piézométrie, obtenues avec les puits, forages et piézomètres, et les différentes couches ont donné une profondeur moyenne du plan d'eau à 50m en amont, à 15m dans la zone centrale et à 3m aux environs de Sebkhath Mechéguigue. L'écoulement général des eaux de la nappe est de direction NW-SE.

Pour le calcul du bilan de ce système, les auteurs ont utilisé la méthode d'interpolation des différents paramètres hydrodynamiques afin d'avoir une valeur moyenne pour chacun. Le bilan est calculé par différence entre les entrées et les sorties.

Les entrées (V_e) sont estimées à $16,13 \cdot 10^6$ m³/an avec une Infiltration efficace des eaux de pluie de $9,83 \cdot 10^6$ m³/an. (Volume annuel des infiltrations calculé sur la base des superficies et des différents coefficients perméabilité). Pour ce qui est de l'infiltration par ruissellement, on a $4,6 \cdot 10^6$ m³/an et l'infiltration par l'Oued Leben est de $1,7 \cdot 10^6$ m³/an.

Pour ce qui est des sorties (V_s) on note, $V_s = 9,31 \cdot 10^6$ m³/an. La nappe est exploitée avec un débit $Q_{ex} = 8,36 \cdot 10^6$ m³/an. L'écoulement souterrain (ES): la transmissivité $T = 5 \cdot 10^{-4}$ m²/s. (formations sablo-argileuses de la partie nord) ; $T = 7,5 \cdot 10^{-4}$ m²/s (formations sableuses et grossières de la zone sud) avec un gradient hydraulique : $= 4,33 \cdot 10^{-3}$. Le front d'écoulement est à 14 Km d'où $ES = 0,9 \cdot 10^6$ m³/an

Ce qui permet d'avoir le bilan suivant : $V_e - V_s = + 6,8 \cdot 10^6$ m³/an.

En fin de compte, en exploitant les grandes capacités d'analyse thématique et de rédaction cartographique d'ArcGis, un modèle hydrogéologique dans lequel sont intégrées toutes les couches d'informations élaborées a pu être réalisé.

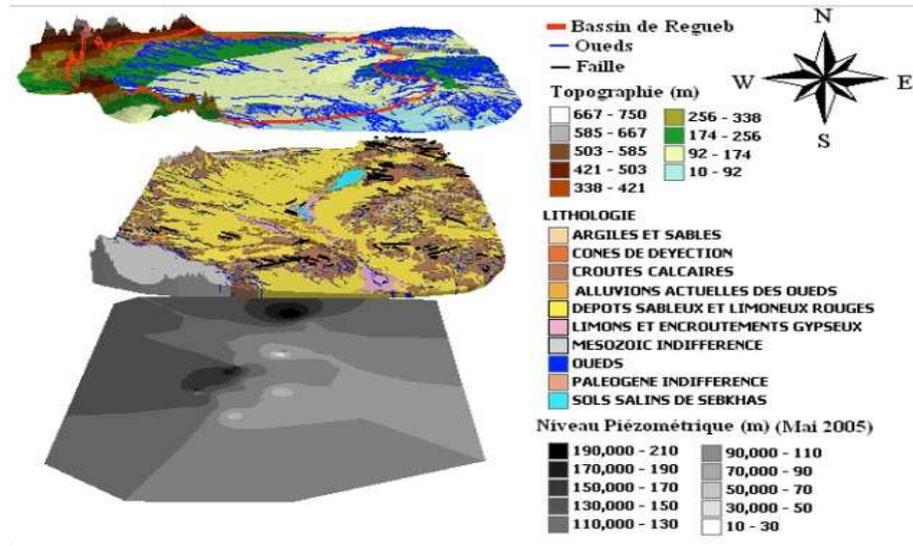


Figure 9 : Model hydrogéologique du Bassin de Bled Regueb.

Ce modèle, qui peut servir comme un outil d'aide aux décisions futures, rassemble des données diverses (géologiques, géomorphologiques, hydrologiques et hydrogéologiques) et facilite l'analyse spatiale des phénomènes hydrogéologiques et leur évolution dans le temps et en fonction de l'enrichissement de la base de données. Par la modélisation, elle peut avoir vision d'avenir sur la ressource, qui un élément indispensable à une bonne gestion. Car une bonne gestion implique une anticipation des besoins afin de définir un plan d'aménagement des eaux (NGUETORA, 1999).

Cet exemple montre que pour une meilleure gestion des ressources en eau souterraine, on a besoin d'informations détaillées, fiables et bien organisées sur l'état de l'environnement hydrogéologique. C'est ce qui permettra de pouvoir évaluer de façon précise les ressources des différents bassins versants et de pouvoir les mettre en adéquation avec les besoins des populations de la zone.

En plus, en superposant la localisation de la ressource à la répartition spatiale des populations, l'on peut facilement planifier la mise en place de points d'eau pour ces dernières et au-delà, mettre en place des programmes de développement des régions soumises au stress hydrique.

3-1-3-Architecture général d'un système national d'information sur l'eau au Burkina Faso : cas d'étude N° 3

Contexte

La connaissance et le suivi des ressources en eau, leurs usages, les ouvrages d'exploitation, les demandes, des risques liés à l'eau, les besoins de l'environnement en eau sont des éléments d'information de base indispensables pour assurer une bonne gestion de l'eau. Les besoins en eau du pays étaient estimés à 2 500 millions de m³ par an repartis entre plusieurs consommateurs : 80 % de cette demande provient de l'hydroélectricité. 95 %, pour la demande consommatrice on l'évalue à 505 millions de m³/an dont l'irrigation avec 64 %, l'eau domestique avec 21 %, l'élevage avec 14 % (Etat des lieux des ressources en eau du Burkina Faso et de leur cadre de gestion, Mai 2001 version final). Cette situation exige de connaître et de suivre la ressource.

Et cette fonction de connaissance et de suivi se développe en plusieurs étapes qui sont la collecte des données de base, leur validation et leur stockage, leur traitement et la diffusion des informations obtenues sur le diagnostic de l'eau. L'exécution efficace et régulière de ces diverses étapes permet de disposer d'un véritable système national d'information sur l'eau. Ce qui n'était pas le cas car seul le suivi quantitatif et qualitatif des ressources et des ouvrages d'exploitation était assuré, et encore, pas de façon pleinement satisfaisante. Les usages, les demandes, les risques, les besoins environnementaux, ne sont pas suivis ou très peu.

Face à cette situation, un Plan d'Action pour la Gestion Intégrée des Ressources en Eau (PAGIRE) a été élaboré avec l'appui du Royaume de Danemark et adopté par le Gouvernement en mai 2003. Ce plan prévoit un domaine spécifique d'actions pour la mise en œuvre d'un système national d'information sur l'eau

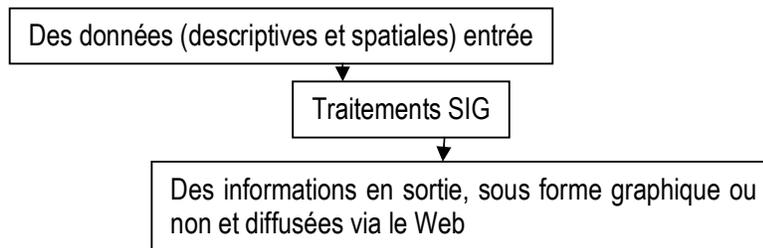
Mise en place du SNI Eau

Un système national de l'information sur l'eau peut être défini une chaîne opérationnelle qui vise à fournir aux décideurs politiques, aux planificateurs, aux collectivités locales, aux exploitants de l'eau, toute information utile relative aux ressources en eau, à ses usages, aux risques liés à cette ressource, aux besoins en eau de l'environnement. Un tel système est un fondement essentiel de la gestion intégrée des ressources en eau : sans connaissance des divers aspects de l'eau, pas de gestion

durable possible (Plan de conception et de mise en œuvre du Système National d'Information sur l'Eau SNIEau, 2004).

Cette chaîne opérationnelle s'étend depuis la collecte de données de base sur le terrain jusqu'à la diffusion d'informations analytiques sur l'état des ressources en eau et de leurs usages. Elle comprend donc les réseaux et procédures de suivi sur le terrain, les systèmes de transfert d'information, de validation, de saisie, de stockage, les systèmes d'analyse et de traitement de l'information (les bases de données, le SIG, les outils informatiques associés), les mécanismes de diffusion de l'information (centre de documentation, site WEB, procédures d'échanges entre producteurs et clients de l'information).

L'architecture du système se présente comme suit :



La démarche conceptuelle adoptée par l'équipe permet au système de répondre à plusieurs questionnements pertinents dans la problématique d'une GIRE comme le montre la figure ci-après :

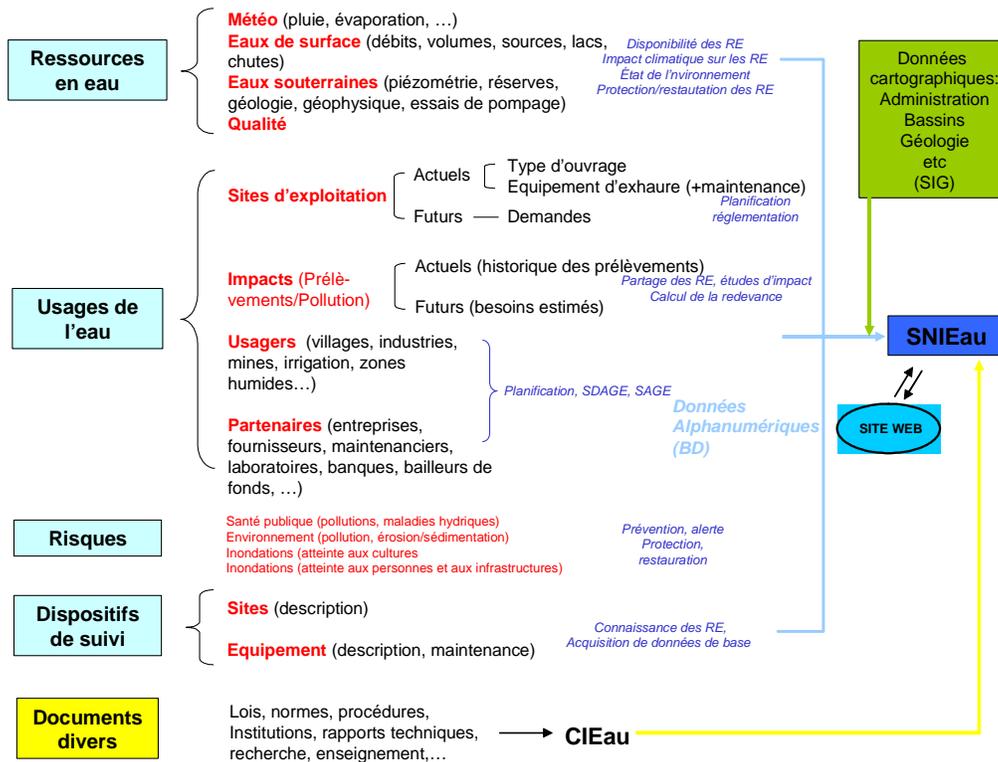


Figure 10 : Conception d'un SNIEau au Burkina (Source, SNIEau, 2004).

L'analyse de ce système montre que ce système se compose de six (6) types de données qui se présentent comme suit :

1. Les données sur les ressources en eau. Il s'agit des données météorologiques, des données quantitatives sur les eaux de surface et les eaux souterraines, et des données sur la qualité des eaux. Ces données permettent d'assurer les fonctions de gestion suivantes : connaissance de la disponibilité et de l'exploitabilité des ressources en eau, connaissance des impacts climatiques sur les ressources en eau, connaissance de l'état de l'environnement (et plus spécialement des zones humides), identification des mesures de protection / restauration des ressources en eau à envisager.
2. Les données sur les usages de l'eau. Elles peuvent être subdivisées en quatre types de données :
 - les sites d'exploitation (c'est-à-dire les ouvrages et leurs caractéristiques), existants et prévus ; la connaissance de ces données intervient pour les fonctions de planification et de réglementation ;

- les impacts des prélèvements sur les ressources en eau, existants et prévisibles ; la connaissance de ces données intervient pour les fonctions de partage des ressources en eau, d'études d'impact, de calcul de la contribution financière en application des principes utilisateur/payeur et pollueur/payeur ;
 - les usagers de l'eau (les villages, les industries, les mines, les irriguants, etc.) ; la connaissance de ces données intervient dans la fonction de planification (SDAGE, SAGE, plans d'aménagement et de gestion) ;
 - les partenaires de toutes natures concernés par le secteur de l'eau (entreprises, fournisseurs, maintenanciers, laboratoires, bureaux d'études, banques, bailleurs de fonds, etc.) ; ces données interviennent également dans la fonction de planification.
3. Les données sur les risques. Elles se subdivisent en risques pour la santé publique (pollutions, maladies hydriques), risques pour l'environnement (pollution, érosion, sédimentation), risques d'inondations ou de sécheresse pour les cultures, risques d'inondations pour les personnes et les infrastructures). La connaissance de ces données permet d'assurer les fonctions de prévention et d'alerte, et de protection / restauration des ressources en eau et des zones humides.
 4. Les données sur les réseaux de suivi. Il s'agit des données spécifiques sur les sites et les équipements des divers réseaux de suivi des ressources et des usages de l'eau. Ces données permettent de contribuer aux fonctions de connaissance des ressources et des usages de l'eau et à l'acquisition des données de base.
 5. Les données géographiques. Il s'agit de toutes les données de type géographiques, qui peuvent être numérisées et incorporées dans un système d'information géographique (SIG) : cartes administratives, du réseau hydrométrique, géologie, hydrogéologie, voies de communication, occupation du sol, aménagement des terroirs, images satellite, photographies aériennes, etc. Ce type de données permet des analyses et des représentations géographiques des données.
 6. Les données générales (centre de documentation). Il s'agit ici de toutes les données qui peuvent difficilement être stockées ou être traitées par des moyens informatiques. Ce sont notamment tous les textes juridiques, les normes, les procédures, les rapports techniques, les rapports de projet, les livres scientifiques, les thèses, les journaux et périodiques spécialisés, etc, qui constituent le fonds des centres de documentation et une source d'informations très diversifiées relatives à l'eau (PSNIEau, Novembre 2004).

Il permet d'avoir une vue d'ensemble sur la ressource et toutes les activités la concernant, de partager facilement les données et donc d'optimiser les prise de décision.

La mise en place de ce système est un atout majeur pour le Burkina Faso en ce qui concerne la mise en œuvre de la GIRE. La gestion intégrée des ressources en eau fait appel à plusieurs expertises tant dans les sciences de l'eau que dans les sciences sociales ou économiques. En fait, elle s'effectue à la fois de façon horizontale et de façon verticale. L'horizontalité est traduite par la multiplicité des intervenants et la verticalité par l'organisation hiérarchique des institutions concernées. Plusieurs acteurs participent à l'aménagement des eaux, ce qui rend la dimension horizontale beaucoup plus importante (NGUETORA, 1999). Et ce système met en relation tous les acteurs du domaine de l'eau au travers des éléments qui le compose. C'est une plateforme d'échange d'information entre les différentes structures et de collaboration efficace.

C'est aussi un moyen efficace pour rendre performants les différents systèmes de collecte et de suivi de données liées à la ressource elle-même. Gérer l'eau ne peut se limiter à l'évaluation des besoins et à la construction d'ouvrages de maîtrise d'eau pour leur satisfaction. Mais l'on doit élaborer des schémas qui permettent l'utilisation durable de la ressource.

Au travers cet outil, toutes les données de base seront normalement prises en compte dans la politique de gestion de l'eau. Ainsi la prise de décision se fera en prenant en compte tous les usages liés à la dite ressource et son évolution. Car il permet aussi le suivi de la ressource au cours du temps.

Le bon fonctionnement de ce système est un maillon essentiel à la planification des ressources en eau, toutes les expertises étant mises à contribution.

La dernière étape de la mise en œuvre de ce système a été la vulgarisation des informations. Cela est prévu selon la démarche méthodologique adoptée et devait être le point culminant de son fonctionnement. Pour cela, il est prévu un Centre d'Information sur l'Eau (CIÉau) qui permettra de fournir une information juste et mise à jour aux différents acteurs (décideurs, presse, acteurs, etc.) mais aussi et surtout à la population.

En effet, cette étape est importante à cause de l'attitude des populations face à l'usage de l'eau. Certains n'ont pas appréhendé la valeur économique de l'eau de ce fait, vulgariser toutes les actions et les investissements réalisés autour de la ressource et les impliquer dans la conception des différents

ouvrages les amènera à participer à une meilleure gestion. D'autres par contre préfèrent les eaux des marigots et autres marres que l'eau des forages, s'exposant ainsi à des maladies hydriques, d'où la nécessité de les sensibiliser (NGUETORA, 1999).

3-1-4- SIG et gestion d'un périmètre irrigué : cas d'étude N° 4

Dans le cadre de notre formation, nous avons effectué une sortie de terrain pour nous mettre en contact avec la problématique GIRE sur un Bassin versant, celui du Kou dans la zone de Bobo-Dioulasso.

Contexte

.La vallée du Kou est le prototype d'un usage concurrentiel de l'eau. Le périmètre en question est au centre de ce problème. Des utilisateurs en amont de celui-ci, par leur consommation informel et souvent illicites, diminuent fortement la quantité d'eau destinée au périmètre. Cette ressource elle-même déjà affectée par la variabilité du climat, avait fortement baissé. L'eau ne suffisant donc plus, il faut utiliser les terres de manière à éviter les pratiques non efficaces. Pendant cette sortie nous avons eu à recueillir des données sur le périmètre irrigué qui est au centre des problèmes sur le bassin versant. Ces informations obtenues peuvent aider à contribuer à une meilleure utilisation de l'espace destiné à l'agriculture irriguée afin de la rendre rentable

C'est une zone à forte potentialité hydrique et elle est drainée par de nombreux cours d'eau et sources. Mais les utilisateurs sont nombreux et variés : les agriculteurs qui exploitent les eaux de surface et les eaux souterraines, l'ONEA qui exploite les sources, les éleveurs, le périmètre irrigué, etc. (Voir figure 11).

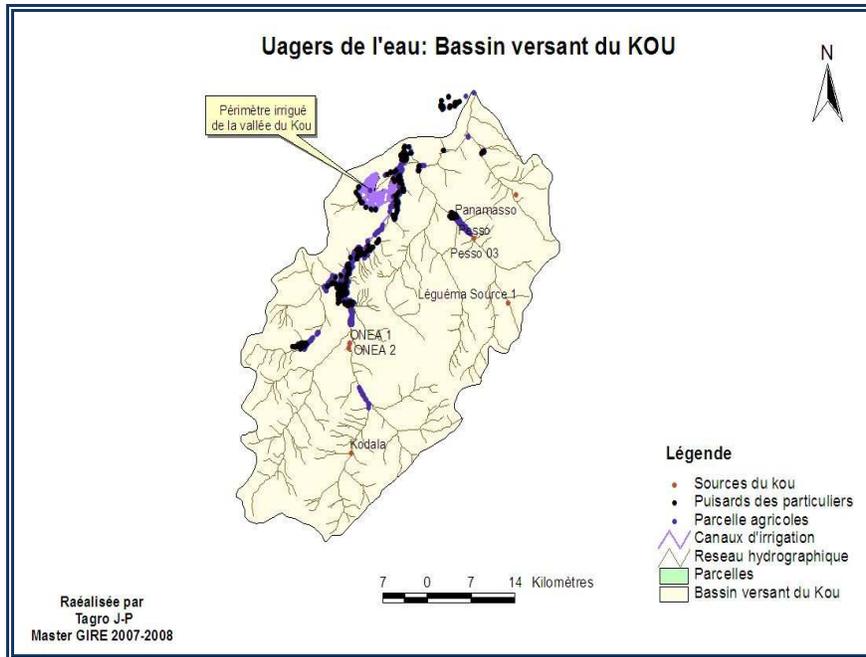


Figure 11 : Usages concurrentiels de la ressource en eau : Bassin versant du kou.

Les données obtenues sur le dit périmètre concernent plusieurs paramètres entre autres les parcelles, les canaux, les cultures, la pédologie, l'occupation des sols, etc.

Au travers de ces données, nous avons pu faire une application simple des SIG dans le domaine de l'irrigation. La carte des sols du périmètre est donnée par la figure suivante.

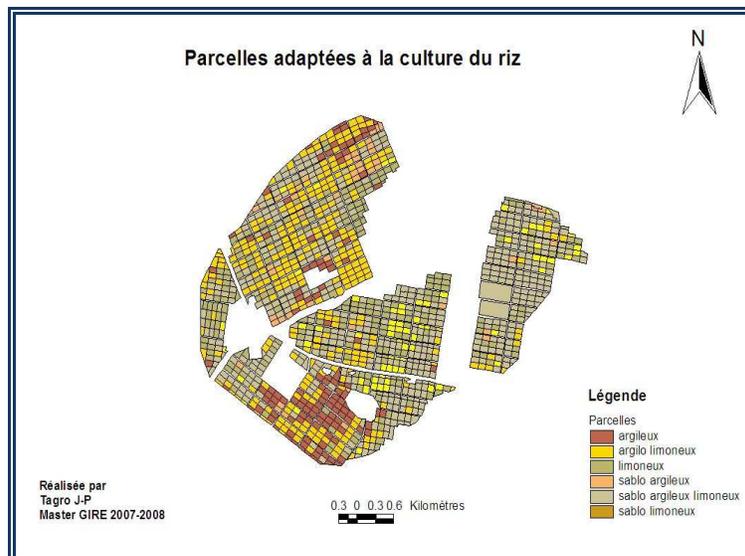


Figure 12 : Périmètre irrigué de la vallée du Kou (Bobo-Dioulasso)

Méthodologie

Par des requêtes, l'on a pu extraire les différents types de sols comme des thèmes à part entière. Exporté sous Excel, l'on a calculé les superficies de ces sols en vue d'optimiser la consommation d'eau sur le périmètre en évitant de pratiquer une culture comme le riz sur des parcelles qui ne retiennent pas l'eau à cause de leur caractère poreux.

Résultats

Ce traitement a permis d'avoir les carte suivantes montrant d'une part les sols pouvant être utilisés dans la culture du riz et ceux qui ne le peuvent pas.

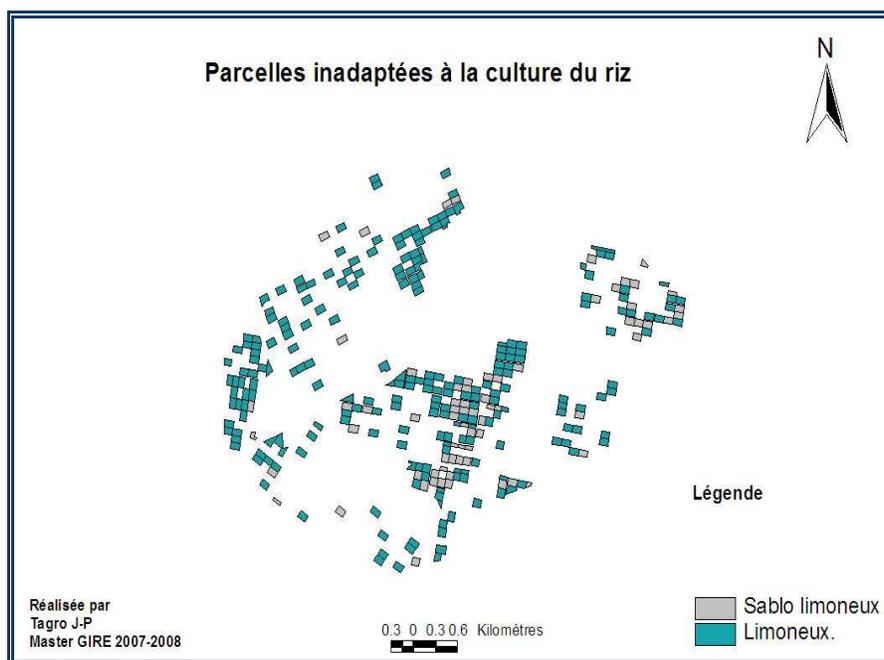


Figure 13 : Parcelles non rentables pour la riziculture.

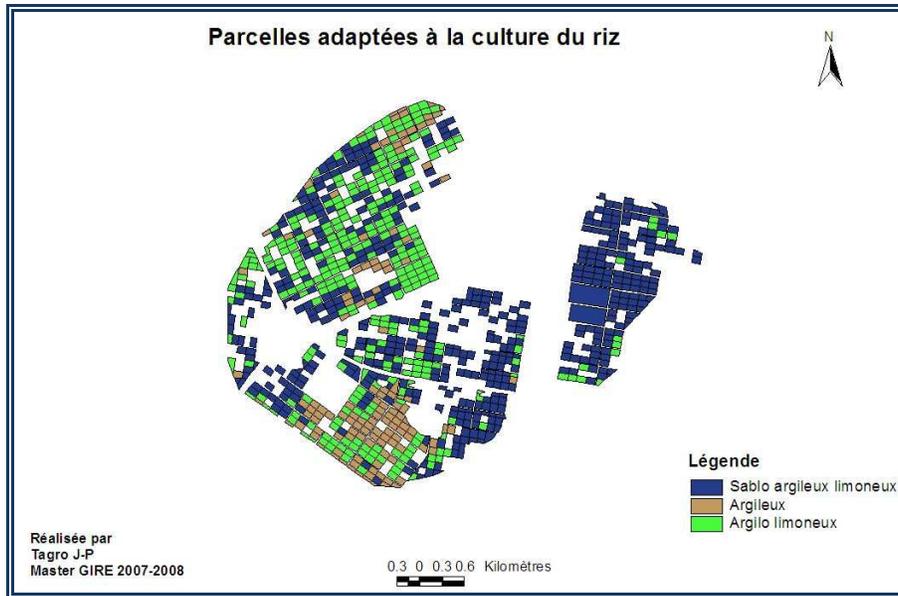


Figure 14 : Parcelles adaptées à la pratique du riz.

Nous pouvons donc retenir que 23% de la superficie totale du bassin est occupé par des sols plus ou moins sableux (figure 13). Ce sont des sols qui ne peuvent pas retenir l'eau. Or le riz est une culture qui demande une quantité importante d'eau. La pratique de cette culture ne sera donc pas efficace.

Il serait mieux d'y pratiquer d'autres cultures moins consommatrices telles que les maraîchers. Sur les autres parcelles, l'on peut se permettre de pratiquer le riz vu que le sol a les caractéristiques qui conviennent à cela.

Avec cette simple application, l'on parvient non seulement à pouvoir estimer la superficie des différents types de sols, mais aussi à présenter leur répartition spatiale. Les propriétaires des parcelles étant connus, l'on peut les suivre et les encadrer pour non seulement l'utilisation efficace et efficiente de l'eau, mais aussi pour les appuyer en vue de maximiser leur rendement. Aussi, en définissant les cultures à pratiquer pour chaque parcelle en début de campagne, on peut déjà estimer les besoins des différentes parcelles et à partir de cela élaborer un calendrier d'irrigation qui soit efficace.

Plusieurs autres applications pouvaient être faites au niveau de ce bassin versant telles que les zones à forte concentration en agriculteurs, les zones à risques de conflits, etc.

A ce niveau de notre travail, il faut remarquer que certains autres aspects, pouvant montrer les capacités des SIG dans le domaine de la gestion de l'eau, n'ont pas été abordés ici. En effet, ces derniers peuvent être utilisés dans la gestion des risques, des crues, des pollutions accidentelles, la pollution des aquifères par les pesticides, etc. Tout ceci pour dire que, les systèmes d'informations géographiques ont un large domaine d'intervention pour ce qui est de l'eau.

Conclusion

La gestion intégrée des ressources en eau est un mode de gestion bénéfique surtout pour les pays en voie de développement. Sa mise en œuvre demande la participation de toutes les entités de la société. Il faut donc rassembler toutes les couches sociales autour des problèmes liés à l'eau afin d'y apporter des solutions idoines et durables. C'est le mode de gestion le mieux adapté à la situation actuelle des ressources en eau. Celles-ci se raréfient tandis les besoins et la demande ne cessent de croître. Gérer l'eau par une politique intégrationniste fera qu'on pourra arriver à satisfaire toute la demande liée à l'activité humaine tout en pourvoyant aux besoins des différents écosystèmes et ceci de façon durable.

Pour atteindre ce but, l'on dispose d'un outil performant que sont les SIG. En effet, ceux-ci offrent, au travers des SGBD avec lesquels ils sont couplés, une possibilité de mettre sur une même plateforme les informations liées à la ressource (quantité, répartition spatiale, qualité, besoins, etc.) et aux différents usages (agriculture, industrie, demande en eau potable). Les différents cas d'étude évoqués lors de notre travail montrent le niveau d'intervention que peuvent atteindre les SIG dans la gestion des ressources en eau.

Premièrement, ces études montrent que les SIG permettent de prévenir les pollutions des eaux souterraines servant à l'AEP des populations des grandes villes africaines. Ceci a été possible par l'élaboration de cartes montrant les zones qui sont vulnérable. Les différents projets d'aménagement devront donc prévoir des systèmes d'assainissement pour minimiser au plus les risques de pollution.

Ces études ont également montré l'utilité des SIG dans l'évaluation des apports et des consommations au niveau d'un bassin versant qui est le territoire privilégié de mise en œuvre de la GIRE. Cette évaluation permet de faire le bilan du système considéré. En ayant ce bilan, l'on peut aisément faire la planification de la ressource au niveau de ce bassin versant. On peut également faire l'inventaire des besoins et des utilisateurs pour une meilleure répartition de la ressource. Cela permet de pouvoir anticiper sur les conflits qui peuvent survenir des usages concurrentiels.

Le partage de données est ainsi facilité et les perceptions et attentes des différents acteurs sont prises en compte. Les décideurs sont ainsi à même de prendre des décisions adaptées face aux problèmes liés à la ressource.

Au terme de ce constat, nous pouvons dire que les SIG sont un outil indispensable dans la mise en œuvre de la GIRE. Ils permettent d'avoir une vue panoramique sur tous les enjeux liés à l'eau afin d'en tenir compte dans les prises de décision et d'élaborer des politiques appropriées.

De ce fait, les Etats, surtout ceux des pays du sud, gagneraient à investir dans des plans et programmes qui visent la mise en place de SIG en vue de faciliter la GIRE et de faciliter la prise de décision. Cela leur permettra aussi de disposer d'éléments nécessaires à la planification des ressources qui soit en harmonie avec les demandes sans cesse croissantes. Les données issues des SIG devraient être traitées et accessibles afin que les populations disposent d'informations relatives à l'eau (disponibilité, qualité etc.).

Mais une meilleure utilisation de cet outil passe par sa vulgarisation et la formation de l'ensemble des acteurs de l'eau à son utilisation. Ainsi faut-il intégrer les SIG dans les modules de formation de tous les intervenants au niveau de la gestion de l'eau.

Bibliographie

Anonyme 1, 2008

Système d'Information Géographique

http://fr.wikipedia.org/wiki/Syst%C3%A8me_d'information_g%C3%A9ographique

Anonyme 2, 2008

Introduction aux SIG. Définitions, historique des S.I.G

<http://photogeo.insa-strasbourg.fr/cours/sig197.html>

Etat des lieux des ressources en eau du Burkina Faso et de leur cadre de gestion, Mai 2001 version final. 323 p

HABIB S. et al., 2005

Etude et gestion des Ressources en eau dans une région aride par le SIG : Cas de la région de Regueb - Sidi Bouzid – Tunisie (résumé).

http://www.esrifrance.fr/sig2005/communications2005/smida_habib/smida.htm

JARAR O. et al. 2005

Elaboration d'un S.I.G. pour la gestion des ressources en eau des bassins versants de Ziz et Rhéris

http://www.ucam.ac.ma/gire3d/Data_Base_Donnees/Full_pappers_PDF/Theme1/Session1/Jarar_Oulidi_et_al_Full_paper.pdf

JOURDA J. P. et al., 2003

Gestion et protection des eaux souterraines urbaines : apports d'un système d'information géographique à la réalisation de la carte de vulnérabilité de la nappe du continental terminal au niveau de l'agglomération d'Abidjan (résumé).

http://www.esrifrance.fr/actu/sig2003/Communication/labeauenv/labeauenv_esri.htm

KEDOWIDE C., 2008

SIG et télédétection appliqués à la gestion des ressources en eau, cours SIG et télédétection : un outil de gestion de l'espace. Note de cours.

KEDOWIDE C., 2008

Photogrammétrie et cartographie. Note de cours

KENFACK S., 2007

Pollution-protection des ressources en eaux

Note de cours, GIRE décembre 2007.

MARTINEZ A., 2003

Elaboration d'un SIG pour la gestion des zones à risque de glissement de terrain dans le quartier de Villatina Medellin, Colombie. Mémoire de certificat de spécialisation en géomatique. 55 p

NGUETORA M., 1999

Concept et méthode de gestion des eaux en milieu semi-aride à l'aide d'un système d'information géographique. Application au bassin versant de massili au Burkina Faso, Thèse N° 1971,150p.

EPFL, Lausanne, suisse.

.OUEDRAOGO B. 2007

Principes Et Concepts De La Gire Etat Actuel Et Perspectives. Note de cours.

Plan de conception et de mise en œuvre du Système National d'Information sur l'Eau (SNI Eau) Version finale, Novembre 2004, 119p.

<http://photogeo.insa-strasbourg.fr/cours/sig197.html>