



2iE
Fondation 2iE

Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
International Institute for Water and Environmental Engineering

**CONTRIBUTION A L'IDENTIFICATION DES SITES FAVORABLES A
L'IMPLANTATION DES CITERNES D'IRRIGATION DE
COMPLEMENT : CAS DU BASSIN VERSANT DE TOUGOU AU
BURKINA FASO**

**MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU
MASTER SPECIALISE EN GESTION INTEGREE DES
RESSOURCES EN EAU**

Présenté et soutenu publiquement le 22 Septembre 2011 par

Wilfred KOMBE IBEY

Travaux dirigé par : Dr. Bruno BARBIER
Enseignant, chercheur, 2iE

Jury d'évaluation du stage :

Président : Hamma YACOUBA

Membres et correcteurs : Bruno BARBIER
DA SILVEIRA

Promotion 2010/2011

CITATION

Les technologies spatiales, et de façon plus particulière les systèmes d'observation de la Terre, constituent depuis quelques décennies des outils incontournables dans la problématique d'aménagement de territoire.

DEDICACE

*A mon estimé Père MAHIMBA IBEY Fortunat et à ma
tendre mère BILEKE NDENGE Françoise pour leurs
soutiens et sacrifices consentis.*

*A mon Oncle KUMAKINGA KOMBE Wilfrid et sa femme
Maman MBEMBE Marguerite, pour leurs conseils, soutiens
et attentions soutenus.*

*A ma future progéniture, que ce travail leur soit un repère
scientifique.*

Je dédie le présent travail !

REMERCIEMENTS

Au terme de mon Master Spécialisé en Gestion Intégrée des Ressources en Eau (*GIRE/TWRM*) au sein de l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement de la Fondation 2iE, nous tenons à remercier tous ceux qui ont contribué à notre formation.

Nous remercions d'abord Dieu Tout Puissant, pour la vie, la santé qu'il nous donne jour le jour, ainsi que pour l'intelligence, la sagesse et la protection durant notre formation.

Nous remercions le Dr Bruno BARBIER mon promoteur, qui m'a fait bénéficier de ses compétences et de son expérience en me guidant méthodiquement par des conseils et critiques dans les étapes de ce travail. Nos remerciements vont également à la personne de Dr SOME YELEZOUOMIN Stéphane Corentin, pour sa disponibilité, ses conseils, ses encouragements et ses remarques. Nous ne pouvons oublier Monsieur FOSSI SEVERE pour tous ces conseils pratiques.

Nos remerciements s'adressent également à la Facilité Eau de l'Union Européenne, mon organisme boursier qui m'a permis de suivre dans de bonnes conditions la formation en Master Spécialisé Gestion Intégrée des Ressources en Eau.

Nous tenons à manifester notre gratitude à nos sœurs et frères Jacquie MBAMBOYO, Nicole MAHIMBA, Solange PEMBE, Joseph MAHIMBA, Roland MAHIMBA, Françoise BILEKE, Gisel MAHIMBA, Bienvenue MAHIMBA, Guy KWETO et Simone MAHAKOMBE. Nos remerciements s'adressent aussi à mon Beau frère, Ingénieur Nicolas NTEMUANENGU, pour les fructueuses correspondances et conseils pratiques.

Que nos aînés et amis Marcelline NGOMBA, Eddy BONGWELE, Martin MBEMBA, Patrick LOLA, Confiance MFUKA, Norra MAKAKA, Alfred NOBUSINAPA, Olivier MAKITA, Patrick KAZADI et Fiston BOPILO trouvent ici l'expression de notre attachement.

Merci à Papa KOMLA Jakatey et au Père TSHIBANGU, respectivement pour les sages conseils, le moment passé durant la Saint Sylvestre 2011 et la disponibilité pour la lecture de mon travail. Que toutes les personnes qui m'ont apporté leur soutien mais qui n'ont pas été citées dans ces lignes retrouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.

L'auteur

RESUME

L'irrigation de complément est une solution alternative au problème de la maîtrise de l'eau dans des systèmes de productions agricoles pluviaux très vulnérables aux poches de sécheresse nombreuses et récurrentes dans le Sahel. Sa mise en œuvre nécessite entre autre la réalisation d'un mécanisme de stockage des eaux.

Ce travail réalisé à Tougou, en zone sahélienne Burkinabè, vise à élaborer un modèle spatial de sites favorables à l'implantation des citernes. Celles-ci serviront à la collecte et aux stockages des eaux de ruissellement dans le but de les réutiliser en irrigation de complément pendant les poches des sécheresses.

L'Analyse Multicritère associé à un Système d'Information Géographique et la télédétection constituent les trois grands éléments autour desquels la méthodologie de ce travail a été construite.

Nous avons identifié dans cette étude, quelques sites favorables à la mise en place des citernes d'irrigation de complément, dans les parties nord-ouest et sud-ouest du bassin versant de Tougou. Ces sites sont localisés sur un sol peu évolué présentant un faible taux d'infiltration de l'ordre de 1 à 3 mm h⁻¹, en aval de sols à matériaux bruts ayant un coefficient de ruissellement supérieur à 50 % susceptible pour leurs approvisionnements.

Ces citernes reposent sur des sols dont les pentes sont moyennes et estimées à 2,7 %, acceptable pour approvisionner les zones de cultures dans le bas-fond par un système d'irrigation gravitaire.

Mots clés : *Irrigation de complément, Systèmes d'Information Géographique, Télédétection, Analyse Multicritère ; Burkina Faso.*

ABSTRACT

Supplemental irrigation is an alternative solution to the problem of water management in rain fed farming systems which are highly vulnerable to numerous and recurring dry spells in the Sahel. Its implementation requires, among other solutions, the setting up of a mechanism for water storage.

This study realised in Tougou, in the Sahelian zone of Burkina Faso, aims to design a spatial model of favourable sites for the installation of tanks. The tanks mentioned above will be used for the purpose of collecting and storing runoff, in order to reuse the water collected in supplementation irrigation during dry spells

Multi-criteria analysis combined with Geographic Information System and remote sensing are the three key elements around which the methodology of this study has been built.

From this study, we have identified some suitable sites to set up the tanks for supplemental irrigation in the North-west and South-west of the Tougou watershed. Most of these sites are located on the soils less evolved with low infiltration rate of about 1 to 3 mm h⁻¹, downstream of soil with raw material, which have runoff coefficients greater than 50% liable for their supplies.

These tanks are posed on soils with slopes estimated to an average of 2.7% acceptable for growing areas in the lowlands by a gravitational irrigation system.

Key words: *Supplemental irrigation, Geographic Information system, Remote Sensing, Multi-criteria Analysis, Burkina Faso.*

LISTE DES ABREVIATIONS

AMC	: Analyse Multicritère
DEM	: Digital Elevation Model
ESRI	: Environmental Systems Research Institute
ETP	: Evapotranspiration Potentielle
FAO	: Fond and Agriculture Organization
GPS	: Global Positioning System
ICARDA	: International Center for Agricultural Research in the Dry Areas
IC	: Irrigation de Complément
IDW	: Inverse Distance Weighted
MNT	: Model Numérique de Terrain
MAHRH	: Ministère de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques
PNB	: Produit National Brut
PZC	: Parcelle Zone de Culture
PZN	: Parcelle Zone Non Cultivé
SADRS	: Système d'Aide à la Décision à Référence Spatiale
SIG	: Système d'Information Géographique
SRTM	: Shuttle Radar Topography Mission
TIN	: Triangulated Irregular Network
2 D	: Vue à Deux Dimension
3 D	: Vue à Trois Dimension

TABLE DE MATIERE

CITATION.....	i
DEDICACE.....	ii
REMERCIEMENTS.....	iii
RESUME.....	iv
ABSTRACT	v
LISTE DES ABREVIATIONS.....	vi
TABLE DE MATIERE.....	vii
LISTE DES TABLEAUX	x
LISTE DES FIGURES.....	xi
INTRODUCTION	1
1. <i>Contexte et Problématique</i>	1
2. <i>Objectifs du travail</i>	4
3. <i>Hypothèses</i>	4
4. <i>Méthodologie</i>	4
5. <i>Résultats attendus</i>	6
6. <i>Le plan de travail</i>	6
II.1. IRRIGATION DE COMPLEMENT	7
2.1.1. <i>NOTIONS GENERALES</i>	7
2.1.2. <i>AVANTAGE ET INCONVENIENT DE L'IRRIGATION DE COMPLEMENT</i>	7
2.1.2.1. <i>Avantage de l'irrigation de complément</i>	7
2.1.2.2. <i>Inconvénient de l'irrigation de complément</i>	8
2.1.3. <i>DISPOSITION DE CITERNE</i>	8
2.1.4. <i>TYPES DES CULTURES</i>	9
2.1.5. <i>FACTEURS DETERMINANT L'IRRIGATION DE COMPLEMENT</i>	9
2.1.5.1. <i>Facteurs climatiques</i>	9
2.1.5.2. <i>Facteurs sol et géomorphologique</i>	10
II.2. SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE	12
2.2.1. <i>DEFINITION</i>	12
2.2.2. <i>COMPOSANTS D'UN SIG</i>	13
2.2.3. <i>LOGICIELS SIG</i>	14
2.2.4. <i>DOMAINE D'APPLICATION</i>	14

II.3. TELEDETECTION	15
2.3.1. <i>DEFINITION</i>	15
2.3.2. <i>ACQUISITION DES DONNEES</i>	15
2.3.2.1. Les satellites	16
2.3.3. <i>ANALYSE ET TRAITEMENT DES DONNEES</i>	16
II.4. MODELE NUMERIQUE DE TERRAIN	16
2.4.1. <i>NOTION GENERALE</i>	16
2.4.2. <i>ELABORATION D'UN MNT</i>	17
2.4.2.1. Acquisition des données	17
2.4.2.2. L'échantillonnage	18
2.4.2.3. L'interpolation	19
2.4.3. <i>QUELQUES ALGORITHMES INTERPOLATIONS</i>	21
2.4.3.1. Inverse Distance Weighted (IDW)	21
2.4.3.2. Triangulated Irregular Network (TIN)	21
2.4.3.3. Spline	22
2.4.3.4. Kriging	22
2.4.4. <i>QUALITE D'UN MNT</i>	22
III.1. CARACTERISTIQUES DE LA ZONE D'ETUDE	23
III.1.1. <i>SITUATION GEOGRAPHIQUE</i>	23
III.1.2. <i>CADRE CLIMATIQUE</i>	23
III.1.3. <i>SOL</i>	24
III.1.4. <i>RESEAU HYDROGRAPHIQUE</i>	24
III.1.5. <i>CONTEXTE GEOLOGIQUE</i>	25
III.1.6. <i>CONTEXTE GEOMORPHOLOGIQUE</i>	25
III.1.7. <i>VEGETATION</i>	26
III.1.8. <i>AGRICULTURE</i>	27
III.2. MATERIELS	27
3.2.1. <i>DONNEES ALPHANUMERIQUES</i>	27
3.2.2. <i>DONNEES SPATIALES ET CARTOGRAPHIQUES</i>	27
3.2.3. <i>LOGICIELS</i>	27
III.3. METHODES	28
3.3.1. <i>ANALYSE MULTICRITERE</i>	28
3.3.1.1. Notion générale	28
3.3.1.2. Elaboration des critères	29

3.3.1.3.	Classification des critères	29
3.3.1.4.	Pondération des critères et indicateurs	34
IV.	RESULTATS ET INTERPRETATIONS	36
4.1.	<i>METHODE DES CHOIX DE SITES</i>	36
4.1.1.	Niveau d'aptitude par critères	36
4.1.2.	Habitude socio-économique et culturelles des paysans.....	40
4.2.	<i>CARTOGRAPHIE DES SITES FAVORABLES A L'IMPLANTATION DES CITERNES D'IRRIGATION DE COMPLEMENT</i>	41
	CONCLUSION ET PERSPECTIVE.....	43
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	44
	ANNEXES.....	47

LISTE DES TABLEAUX

<i>Tableau 1: Caractéristiques des méthodes d'interpolation les plus répandues</i>	20
<i>Tableau 2 : Contexte géologique, géomorphologique et sol de Tougou</i>	26
<i>Tableau 3 : Classification d'altitude et irrigation de complément</i>	30
<i>Tableau 4 : Taille des champs et irrigation de complément</i>	30
<i>Tableau 5 : Infiltration des sols et irrigations de complément</i>	31
<i>Tableau 6 : Occupations des sols et irrigations de complément</i>	31
<i>Tableau 7 : Proximité aux champs et irrigations de complément</i>	32
<i>Tableau 8: Effet de la pente sur le ruissellement (KR%) et l'érosion (t/ha/an)</i>	32
<i>Tableau 9: Pente et irrigation de complément</i>	33
<i>Tableau 10: Ruissellement par parcelle et irrigation de complément</i>	33
<i>Tableau 11: spéculations agricoles et irrigation de complément</i>	34
<i>Tableau 12: Pondération des critères en fonction des indicateurs</i>	34

LISTE DES FIGURES

<i>Figure 1: Régime d'infiltration en fonction du temps pour quelques types de sol</i>	<i>11</i>
<i>Figure 2: Composante d'un SIG</i>	<i>13</i>
<i>Figure 3 : La localisation de la zone d'étude.....</i>	<i>23</i>
<i>Figure 4 : Hydrographie et géologie du Bassin versant de Tougou.....</i>	<i>25</i>
<i>Figure 5 : Approche multicritère avec SIG.....</i>	<i>29</i>
<i>Figure 6 : Critère de topographie.....</i>	<i>36</i>
<i>Figure 7 : Critère de la pente.....</i>	<i>37</i>
<i>Figure 8 : Critère d'occupation des sols.....</i>	<i>38</i>
<i>Figure 9 : Critère d'infiltration des sols</i>	<i>39</i>
<i>Figure 10 : Critère de ruissellement</i>	<i>40</i>
<i>Figure 11 : localisation des sites favorables à l'implantation des citernes d'irrigation de complément.....</i>	<i>41</i>
<i>Annexe 1 : Vue de dessus nord-sud du bassin versant de Tougou en 3 D.....</i>	<i>47</i>
<i>Annexe 2 : Vue de dessus ouest-est du bassin versant de Tougou en 3 D.....</i>	<i>47</i>
<i>Annexe 3 : Bassin versant de Tougou vue de dessus 3 D.....</i>	<i>48</i>
<i>Annexe 4 : Bassin versant de Tougou vue de dessus 3 D.....</i>	<i>48</i>
<i>Annexe 5 : Evolution des pluies, évaporation et évapotranspiration potentielle dans le bassin versant de Tougou</i>	<i>49</i>
<i>Annexe 6 : Coupe longitudinale du bassin versant de Tougou</i>	<i>49</i>

INTRODUCTION

1. *Contexte et Problématique*

Le Burkina Faso est un pays enclavé d'Afrique de l'Ouest d'une superficie totale de 274 000 Km². L'agriculture constitue une source importante de revenus et est pratiquée par 92% de la population active du pays. La superficie totale cultivable s'élève à 9 millions d'hectares, soit 33% de la superficie totale. Avec une superficie cultivée de 4.40 millions d'hectares, dont 4.35 millions en terres arables et 0.05 million en cultures permanentes (FAO, 2005), l'agriculture contribue à hauteur de 40 % au PNB du pays (MAHRH, 2010). Ainsi, 16 % de la superficie totale du pays et 49 % de la superficie cultivable sont essentiellement consacrées aux cultures céréalières que sont le sorgho, le mil et le maïs.

C'est après son indépendance que le Burkina Faso se lance dans le développement de son agriculture, avec une nette accentuation des efforts après la sécheresse des années 1970 (Mahrh, 2003). Soutenu par des plans d'actions stratégiques spécifiques, élaborés dans les soucis d'améliorer la productivité agricole, de créer des emplois et de promouvoir le développement des organisations paysannes. Le développement de l'agriculture burkinabè est passé par la construction des plusieurs infrastructures hydro-agricoles et l'aménagement des vastes plaines et bassins versants (Ouedraogo, 2005).

Cependant, les résultats à ce jour restent encore en dessous des attentes à cause de grandes difficultés, essentiellement dues à l'aridité du climat et aux profils pédologiques.

Forest (1980) montre que les populations des régions tropicales semi arides se trouvent confrontées à un environnement naturel et économique souvent contraignant pour satisfaire l'exercice de leurs activités agricoles. L'irrégularité des pluies, la faible utilisation des techniques culturales proposées par les agronomes, la réduction des temps de jachère sont là des exemples qui ont entraîné la dégradation physico-chimique des sols. Cette situation créant parmi les exploitants agricoles un climat d'incertitude, contribue à rendre précaire l'agriculture.

Plusieurs stratégies d'adaptation ont été développées, notamment l'utilisation des variétés améliorées ; respect des calendriers agricoles ; les techniques de conservation des eaux et des sols (demi-lune ; culture en courbe de niveau ; cordons pierreux, zaï...), mais l'agriculture Burkinabè reste toujours fortement dépendante de la pluie et donc très vulnérable aux effets du changement climatique. Pour réduire cette vulnérabilité, des projets d'aménagements de

grands périmètres et de petits périmètres villageois ont été mis en place par l'Etat à travers la Direction de l'Aménagement et du Développement de l'Irrigation (DADI) du Ministère de l'Agriculture de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques (MAHRH), des ONG et des particuliers, dans le but de soutenir la production agricole en présence ou non des pluies, mais ces derniers connaissent des problèmes de gestion d'eau (tant en hivernage qu'en saison sèche) et d'entretiens des infrastructures.

Le bassin versant de Tougou au nord du Burkina Faso a aussi bénéficié des aménagements hydro-agricoles. Comme bien d'autres parties du pays, il connaît aussi quelques contraintes de productivité agricole, parmi lesquelles, l'eau pour l'agriculture.

Robert (1996) montre que l'eau représente un facteur clef du développement et de l'augmentation de la productivité agricole. Elle constitue en effet un facteur essentiel d'amélioration et de stabilisation des rendements.

Si des efforts considérables ont été déployés par les services en charge de l'agriculture, les institutions de recherches agronomiques et des ONG dans le bassin versant de Tougou pour augmenter les rendements des céréales, les techniques vulgarisées et utilisées restent néanmoins limitées, et le stress hydrique affecte encore les cultures dans cette partie du pays.

Pour Fillali (1991), l'irrigation de complément garantit une productivité agricole minimale et peut constituer une solution adéquate aux regards des conditions climatiques.

Il apparaît donc nécessaire d'étudier les possibilités d'irrigation de complément en agriculture pluviale, pour essayer de sécuriser la production.

La mise en œuvre de l'irrigation de complément comme solution de lutte contre le stress hydrique, nécessite quelques aménagements, particulièrement la construction de petites retenues d'eau temporaires (citernes). L'aménagement efficace de ces citernes nécessite de disposer d'un minimum d'information sur le bassin versant. On peut citer entre autre la topographie, les pentes, l'occupation des terres.

A ces informations relatives à la réalisation physique des retenues d'eau s'ajoute dans le cadre de la mise en œuvre de l'irrigation de complément, la nécessité de tenir compte d'autres facteurs humains comme la position de la retenue par rapport aux exploitations agricoles.

La réalisation de l'irrigation de complément nécessite donc la collecte de nombreuses données, leur intégration et leur analyse dans un contexte socio-spatial particulier. Aujourd'hui, de nombreuses technologies offrent de grandes possibilités tant en matière de

production que d'analyse de données. Ces données géographiques sont caractéristiques des données d'entrées à la planification des sites destinés à l'implantation des citernes d'irrigation de complément. Il s'agit de la télédétection et des systèmes d'informations géographiques.

La télédétection spatiale offre en effet de nombreuses possibilités d'acquisition de données relatives à de nombreuses thématiques, avec des résolutions temporelles et spatiales très diversifiées. On peut citer entre autres les satellites d'observation de la terre de moyenne à haute résolution comme Landsat, SPOT, Quick Bird, Ikonos qui fournissent des informations importantes sur l'occupation des terres, l'utilisation des terres, la végétation, l'hydrographie. On peut citer également Radar SRTM qui fournit des informations assez riches sur la topographie.

Ces nouvelles technologies d'acquisition et des traitements de l'information spatiale présentent une opportunité qui pourrait être efficacement valorisée dans la modélisation des sites potentiellement adaptés à l'implantation des citernes pour l'irrigation de complément.

Les SIG et la télédétection peuvent en effet permettre d'apporter des réponses à certaines questions essentielles et servir de moyen de traitement de l'information. La question centrale à laquelle doit répondre ce travail est : où peut-on implanter les citernes d'irrigation de complément dans le bassin de Tougou ? Répondre à cette question revient à définir un modèle de sites favorables et à rechercher sur le bassin les espaces qui y correspondent. La seconde question de recherche est : quelles sont les critères auxquels doivent répondre un site pour être considéré comme favorable à l'implantation des citernes d'irrigation de complément ?

2. Objectifs du travail

Ce travail vise à élaborer un modèle spatial pour la détermination de sites favorables à l'implantation des citernes d'irrigation de complément, en s'appuyant sur un système d'information géographique.

Les différents objectifs spécifiques sont les suivants :

- Proposer une méthodologie de choix des sites favorables à la réalisation d'une citerne d'irrigation de complément ;
- Cartographier les sites favorables à l'implantation des citernes d'irrigation de complément dans le bassin versant de Tougou.

3. Hypothèses

Les différentes hypothèses de notre travail sont les suivantes :

- Il est possible de formaliser les sites favorables à l'implantation des citernes d'irrigation de complément ;
- Les nouvelles technologies de traitement de l'information spatiale particulièrement une combinaison de l'Analyse Multicritère, la télédétection spatiale et des Systèmes d'information géographique, constituent une plateforme technologique efficace dans la cartographie des sites favorable à l'implantation des citernes d'irrigation de complément.

4. Méthodologie

L'approche méthodologique utilisée dans ce travail est une approche pluridisciplinaire. Cette dernière intègre : l'hydrologie, l'agronomie, les SIG (Analyse Multicritère) et la télédétection.

L'hydrologie et l'agronomie sont utilisées comme disciplines qui fournissent les connaissances de base à la réalisation de notre travail, alors que l'Analyse Multicritère, la télédétection et les SIG sont à leurs tours utilisés respectivement comme outils et technique pour le traitement et l'affichage de données.

Démarche méthodologique:

La démarche méthodologique appliquée dans ce travail comprend les étapes ci-après : l'identification des critères; la collecte de données ; l'analyse de la qualité des données ; le traitement des données ; la modélisation des critères ; l'évaluation du modèle et la cartographie des sites favorables à l'implantation des citernes d'irrigation de complément.

- ✓ L'identification des critères : est l'étape la plus importante de notre travail, car permet le choix des critères, qui détermineront les sites favorables à l'implantation des citernes d'I.C dans le bassin versant de Tougou.
- ✓ La collecte des données : cette collecte à commencer par une recherche bibliographique sur les notions qui traitent notre travail, d'où la nécessité du deuxième chapitre. En outre, cette collecte des données à consister aussi à trouver des données numériques (images satellites Landsat et SRTM) de la zone d'étude.
- ✓ L'analyse de la qualité des données : cette analyse a servi à vérifier la fiabilité des données ; c'est à dire les aspects techniques des données numériques (format, référentiel spatial, échelles, étendue spatiale etc.).
- ✓ Les traitements des données : concerne toutes les opérations sur les données, leurs interprétations et l'exploitation.
- ✓ La modélisation (Analyse multicritère) : elle comprend la définition des critères, leurs évaluations ; la classification des critères, la mise en place des indicateurs, et leur fusion.
- ✓ L'évaluation des modèles : cette étape consiste à voir si le modèle produit reflète les réalités du milieu.
- ✓ La cartographie des sites : consiste à l'affichage des informations ci-haut en deux dimensions en vue d'avoir un outil d'aide à la décision, quant aux choix des sites favorables à la mise en place des citernes d'irrigation de complément.

5. Résultats attendus

Au terme de notre travail les résultats attendus sont :

- une méthodologie de choix de sites est proposée ;
- les différents sites favorables à l'implantation des citernes d'irrigation de complément dans le bassin versant de Tougou sont déterminés et cartographiés.

6. Le plan de travail

Le présent travail comprend les parties suivantes :

- Chapitre 1 : Introduction Générale
- Chapitre 2 : Revue de la littérature ;
- Chapitre 3 : Matériel et méthode ;
- Chapitre 4 : Résultats et interprétations
- Conclusion et perspectives

II.1. IRRIGATION DE COMPLEMENT

2.1.1. NOTIONS GENERALES

L'irrigation de complément est l'opération consistant à apporter artificiellement de l'eau à des végétaux cultivés via un réservoir situé en amont du champs ou de la surface cultivé, pour stabiliser la production et permettre leur développement normal en cas de déficit d'eau induit par une baisse de la pluviométrie (poche de sécheresse), un drainage excessif ou une baisse de nappe, en particulier dans les zones semi-arides ou arides (FAO/ICARDA, 1987).

Cependant, deux conditions à savoir la topographie et le climat déterminent la mise en place de cette technique dans un bassin versant. Ces dernières jouent un rôle indispensable, respectivement quant à la détermination des zones, surface de collecte d'eau d'une part, et le climat sur la présence de pluie destinée à alimenter ces surfaces de collectes en eau pour soutenir l'irrigation des cultures. En outre, les sols cultivés doivent avoir la capacité de rétention de l'eau, pour permettre le maintien de l'humidité devant assurer le développement des cultures en absence de pluies.

Cette irrigation n'est possible qu'en saison de pluie, car les eaux qui sont collectées dans les citernes proviennent essentiellement des précipitations tombées dans la région.

2.1.2. AVANTAGE ET INCONVENIENT DE L'IRRIGATION DE COMPLEMENT

2.1.2.1. Avantage de l'irrigation de complément

L'irrigation complémentaire est l'une de technique culturale qui permet de satisfaire les besoins en eau des cultures, en temps de déficit pluviométrique. Les apports d'eaux, sous formes complémentaire durant la phase critique des matériels végétales contribuent au maintien de l'humidité de sol et d'une réserve facilement utilisable (R.F.U) convenable, sachant que ces conditions favorisent au niveau de la plante toutes les capacités et les performances génétiques et d'exploitation adéquat des apports fertilisants et les potentialités édaphiques et bioclimatiques.

Ce qui fait, de l'irrigation complémentaire l'une de meilleure technique qui permet, en outre, d'intégrer et d'intensifier dans nos système de production, et d'assurer une stabilité de celle ci même lorsque les conditions climatiques deviennent vulnérables en pays semi-aride et aride (Arar, 1992).

Plusieurs avantages militent en faveur de la pratique de l'irrigation complément ; il s'agit entre autre de :

- La facilité de la mise en place des réservoirs d'irrigation de complément ;
- Le faible coût de la construction et l'entretien ;
- Le fonctionnement du système sans consommation d'énergie ;
- La réduction des risques des érosions hydriques sur le bassin ;
- L'augmentation de l'efficacité de l'eau destinée à la culture ;
- L'alimentation en eau de la nappe phréatique.

2.1.2.2. Inconvénient de l'irrigation de complément

Il existe peu d'inconvénient quant à l'utilisation de l'irrigation de complément dans les pays semi-arides et arides.

Le seul inconvénient majeur est qu'en cas d'averse très importante, il peut avoir éboulement de réservoir (surface de récolte d'eau en fosses creusé directement au bassin et si les pentes sont trop raide) avec des risques d'inondations des cultures en aval.

2.1.3. DISPOSITION DE CITERNE

Il existe deux types de dispositions pour la mise en place de citernes d'irrigation de complément. Ce choix est réalisé en fonction de la pente relevée dans un bassin versant :

- Système micro citerne, si la pente est inférieur à 10 pour cent, c'est-à-dire : la surface de collecte et la surface des cultures sont contiguës, situation observé dans la plaine du bassin versant ;
- Système macro citerne, si la pente est supérieur à 10 pour cent. La surface de collecte est localisée sur un talus et la surface de cultures est au pied du talus.

2.1.4. TYPES DES CULTURES

Plusieurs pays semi-arides et arides utilisent l'irrigation de complément pour stabiliser, améliorer et maintenir le rendement des cultures en période de déficit pluviométrique (Fillali, 1991).

Les plantes qui peuvent être irriguées sont celles qui ont une rentabilité économique élevée, mais qui pourraient aussi se développer sans irrigation ; leurs rendements étant soumis à de grandes variations dues à la pluviométrie locale. Parmi ces espèces, on peut citer : le maïs, le blé, le sorgho, le coton, le tabac, le tournesol, la fève, le pois, le pois chiche, et quelques arbres que sont les amandiers, les oliviers, les vignes, etc.

2.1.5. FACTEURS DETERMINANT L'IRRIGATION DE COMPLEMENT

Dans cette partie, nous allons énumérer les différents facteurs qui ont une influence sur l'irrigation de complément dans un bassin versant.

2.1.5.1. Facteurs climatiques

2.1.5.1.1. Pluviométrie

Il est important de relever la notion de la pluviométrie dans une étude de choix de sites destinés à l'implantation des citernes d'irrigation de complément dans un bassin versant, parce que généralement, les eaux qui seront collectées dans les citernes proviennent des précipitations tombées sur la limite du bassin versant.

Une récente étude effectuée par Karambiri (2009) dans le bassin versant de Tougou, sur la Caractérisation du ruissellement et de l'érosion de la parcelle a permis de relever que depuis les années 1970, l'on observe une baisse notable de la pluviométrie annuelle, laquelle est inférieure à 600 mm.

2.1.5.1.2. Evaporation

L'évaporation est une des composantes fondamentales du cycle hydrologique et son étude est essentielle pour connaître le potentiel hydrique d'une région ou d'un bassin versant. En général, des analyses spécifiques d'évaporation doivent être faites pour des études de bilan et de gestion de l'eau par les plantes. Cependant, ces analyses approfondies sont moins nécessaires pour les études de projets d'aménagement où l'eau est plutôt considérée sous un aspect d'agent dynamique.

Ainsi, (Dastes, 2011) propose l'expression ci-dessous pour l'estimation de poche de sécheresse dans un bassin versant :

- ✓ Si $P < ETP$, l'évaporation réelle sera égale à P ; il y aura prélèvement sur les réserves, absence d'écoulement, période sera déficitaire ;
- ✓ Si $P > ETP$, l'évaporation réelle sera égale à l' ETP , il y aura écoulement et constitution de réserves ; la période sera dite excédentaire.

2.1.5.2. Facteurs sol et géomorphologique

2.1.5.2.1. Facteurs sols

Les paramètres pédologiques semblent beaucoup influencer le processus pluie écoulement dans un bassin versant.

Cependant, les études réalisées par (Betson, 1969) montrent que les caractéristiques pédologiques sont difficiles à vérifier, en particulier à cause de leurs variations dans l'espace (verticale et horizontal) et dans le temps. Les différents facteurs qui peuvent avoir un effet direct sur l'irrigation de complément dans un bassin versant sont : l'infiltration (facteurs sols) ; la forme de bassin versant et la pente (facteurs géomorphologiques).

✓ L'infiltration :

Le terme « infiltration » désigne le processus de pénétration de l'eau dans le sol. La particularité de ce processus découle de ce qu'il est engendré par une modification drastique et quasi instantanée des conditions de pression et de teneur en eau régnant à la surface du sol. Lorsque, celui-ci reçoit une averse ou est soumis à submersion. L'infiltration peut dès alors être considérée comme une perturbation, qui se propage dans le sol en s'atténuant (Soutter, 1991).

Le régime d'infiltration d'un sol dépend avant tout de son régime d'alimentation. Toute fois, la capacité d'absorption en eau est limitée, si bien que lorsque le régime d'alimentation excède cette capacité, l'eau s'accumule en flaques à la surface du sol ou ruisselle selon la pente du terrain.

Thornes (1979) montre que dans les zones semi-arides l'infiltration est très élevée, car les sols ont généralement une faible humidité. Ces derniers présentent des pores et micro-pores vides d'eau. Néanmoins, ce taux d'infiltration est élevé au début d'une pluie et rapidement diminue pendant la pluie et atteint un taux plus bas et presque constant. Dans le sahel par exemple, les

sols tendent à former une croûte au premier horizon, qui gêne l'infiltration et accroît le ruissellement de surface. Le graphique n°1 illustre la baisse de l'infiltration par types des sols :

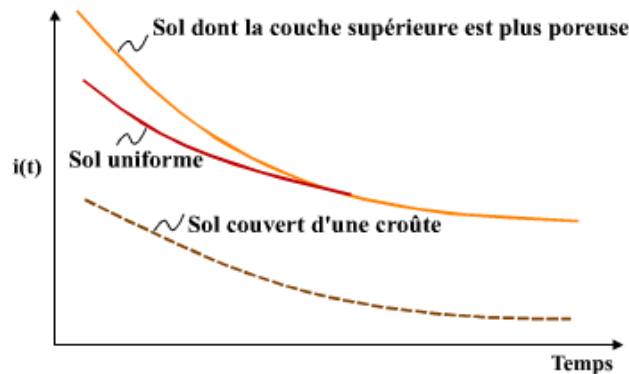


Figure 1: Régime d'infiltration en fonction du temps pour quelques types de sol
Source : (Soutter, 1991)

2.1.5.2.2. Facteurs géomorphologiques

La géomorphologie d'un bassin versant influence fortement sa réponse hydrologique, et notamment le régime des écoulements en période de crue ou d'étiage. Le temps de concentration t_c qui caractérise en partie la vitesse et l'intensité de la réaction du bassin versant à une sollicitation des précipitations, est influencé par diverses caractéristiques morphologiques : en premier lieu, la taille du bassin, sa forme, son élévation, sa pente et son orientation. A ces facteurs s'ajoutent encore le type de sol, le couvert végétal et les caractéristiques du réseau hydrographique. De tous ces paramètres, nous nous intéressons à la forme et la pente.

✓ **Forme du bassin versant :**

La forme d'un bassin versant influence l'allure de l'hydrogramme à l'exutoire et elle permet de mieux comprendre le comportement hydrologique. Cette dernière est trouvée par l'expression de l'indice de compacité de **Gravélius** (Higy, 2004).

L'indice de compacité de **Gravélius (1914)**, défini comme le rapport du périmètre du bassin au périmètre du cercle ayant la même surface :

$$K_G = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = \frac{0.28P}{\sqrt{A}}$$

Avec : K_G : Indice de compacité de GRAVELIUS ;

P : Périmètre du bassin en km ;

A : Surface du bassin en km^2

Le bassin avec K_G proche ou égale à 1 présente une forme circulaire, le temps de concentration plus court, il y'aura un fort débit de pointe. En revanche, le bassin avec K_G supérieur à 1, ce dernier aura un temps de concentration plus lent.

✓ **Pente :**

La pente est une caractéristique importante qui renseigne sur la topographie du bassin versant. Elle donne une bonne indication sur le temps de parcours du ruissellement direct donc sur le temps de concentration t_c et influence directement le débit de pointe lors d'une averse dans le bassin versant (Higy, 2004).

La pente peut être déterminée par la carte topographique, néanmoins la méthode proposée par Carlier et Leclerc (1964) consiste à calculer la moyenne pondérée des pentes de toutes les surfaces élémentaires comprises entre deux altitudes données. Une valeur approchée de la pente moyenne est alors donnée par la relation suivante :

$$Im = \frac{D \cdot L}{A}$$

Avec : Im : Pente moyenne (m/Km)

L : Longueur totale de courbe de niveau (Km)

D : Équidistance entre deux courbes de niveau (m)

A : Surface du bassin en Km^2

II.2. SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE

2.2.1. DEFINITION

Le Système d'Information Géographique, ou SIG (en anglais : *Geographic Informatic System*, GIS) est un système informatique de matériels, qui comprend une base des données sur un ensemble d'unité géographique, de logiciel ou d'ensemble de logiciels et de processus pour permettre la collecte, la gestion, la manipulation, la mise à jour, l'analyse, la modélisation et l'affichage de données à référence spatiale afin de résoudre des problèmes complexes d'aménagement et de gestion (FICCDC, 1988)(Pumain, 2003).

Cette définition du SIG répond aux questions suivantes : « Où ; Quoi ; Comment ; Quand ; Et si ? »

2.2.2. COMPOSANTS D'UN SIG

Le Système d'Information Géographique (SIG) est composé de cinq composants majeurs (Esri, 2011) que sont :

- ✓ **Données** : Les données sont certainement les composantes les plus importantes d'un SIG. Elles peuvent être constituées en interne, où acquises auprès de producteurs de données. C'est les inputs d'un SIG, et on distingue deux types de format de données : le format vectorielles (ensemble des objets terrestre représentés sous forme de : point, ligne et polygone) et le format raster (c'est une représentation du monde réel selon un maillage dont chaque cellule est associé une valeur numérique) ;
- ✓ **Logiciels** : les « logiciels » assurent les fonctionnalités importantes suivantes, regrouper sous le terme *6A*: saisie des informations géographiques sous forme numérique (*Acquisition*), gestion de base de données (*Archivage*), manipulation et interrogation des données géoréférencées (*Analyse*), mise en forme et visualisation (*Affichage*), représentation du monde réel (*Abstraction*) et la prospection (*Anticipation*) ;
- ✓ **Matériels**: constitués des ordinateurs et des périphéries informatiques indispensables pour l'application d'un SIG ;
- ✓ **Personnel** : regroupe les utilisateurs ;
- ✓ **Procédures** : ensembles des méthodes mise en place, pour atteindre un résultat fiable ;
- ✓ **(Réseau)**: c'est l'ensemble des personnes, institutions ; organisations qui travaillent, utilisent un SIG et les relations qui existent entre eux.

Le schéma suivant reprend les composantes d'un SIG :

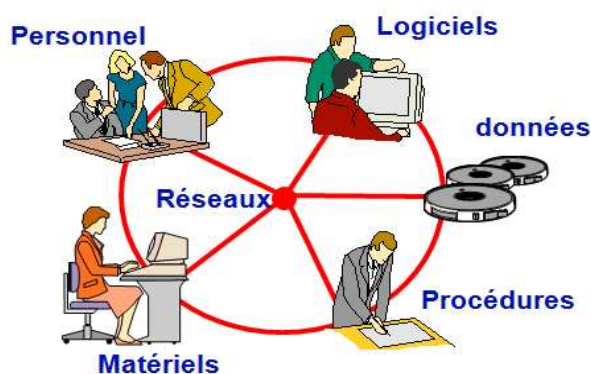


Figure 2 : Composition d'un SIG

2.2.3. LOGICIELS SIG

Ils existent plusieurs logiciels SIG. Il ya ceux qui ne sont utilisés qu'avec une licence (logiciel commercial) et d'autre qui sont utilisés sans licence (logiciel libre).

Les logiciels SIG, compatible avec *Microsoft* nécessitant une licence sont : Arc GIS ; MapInfo ; IDRISI ; MGE ; GEOCONCEPT et ceux compatible avec *Macintosh* : Map II ; GEOCONCEPT ; MapInfo et Hyperbird (Pumain, 2003)

Les quelques logiciels SIG libre sont : Grass GIS ; gvGIS ; orbisGIS ; SAGAGIS ; DIVA-GIS...

2.2.4. DOMAINE D'APPLICATION

Il ya deux principaux domaines d'application d'un SIG : le domaine militaire et le domaine civil. Nous citons ici les applications les plus courantes d'un SIG dans le domaine civil que sont :

- ✓ **L'agriculture** : localisation des champs, cartographier les spéculations agricoles, les terroirs, de statistiques agricoles;
- ✓ **L'archéologie** : localisation des sites préhistoriques ;
- ✓ **L'aménagement de territoire et urbanisme** : cartographie urbaine, l'établissement de schémas directeurs ou la gestion des plans d'occupation des sols, suivi des politiques de lotissement, cartographie des zones à risque, gestion de bas fond ;
- ✓ **L'environnement** : gestion des aires protégés, les ressources en eau et sols, localisation des feux de brousse ;
- ✓ **La climatologie et météorologie** : suivie de prévision climatique, modélisation météorologique ;
- ✓ **La démographie et socio-économie** : localisation des écoles, les ménages, cartographie électorales ;
- ✓ **Le géomarketing** : localisation géographique des clients, des magasins, des zones des distributions, des biens immobiliers ;
- ✓ **La géologie et mines** : cartographier, délimitation, localisation les sites, la gestion et la protection des nappes souterraines et la recherche de gisements d'hydrocarbures, des sites et traçabilité des pollutions ;

- ✓ **L'hydrographie et l'océanographie** : gestion des équipements, prévision des catastrophe naturelle (cyclone, El Nino, Ouragan, passage des orages), l'aménagement des espaces côtiers.
- ✓ **La télécommunication** : gestion des points de ventes, des antennes des communications, suivi de rentabilité, gestion de la pénétration du réseau ;
- ✓ **Les risques naturels et la sécurité civile** : prévision, mise en place de réponse contre les risques majeurs et la gestion des moyens d'intervention et localiser les sinistres, les sites inondés, des sites pollués ;
- ✓ **Les réseaux d'énergie (eau et électricité)** : cartographier les réseaux, suivi des fuites ; localisation des aquifères, délimitation des périmètres des protections,
- ✓ **La santé** : localisation des hôpitaux, suivi des épidémies, localisation des réponses aux catastrophes.

II.3. TELEDETECTION

2.3.1. DEFINITION

La télédétection (en anglais « Remote sensing ») est « la discipline scientifique qui regroupe l'ensemble des connaissances et des techniques utilisées pour l'observation, l'analyse, l'interprétation et la gestion de l'environnement à partir de mesures et d'images obtenues à l'aide de plates-formes aéroportées, spatiales, terrestres ou maritimes. Comme son nom l'indique, elle suppose l'acquisition d'informations à distance, sans contact direct avec l'objet détecté » (Rochon. G, 1992).

2.3.2. ACQUISITION DES DONNEES

Le processus d'acquisition des données comportent les éléments ci-après: l'existence ou non d'une source d'énergie; la propagation de l'énergie à travers l'atmosphère ; interaction de l'énergie avec la surface terrestre ; la retransmission de l'énergie à travers l'atmosphère ; la présence des capteurs aéroportés ou spatiaux et la production des données photographiques ou numériques.

Rochon (1992) montre que seul le corps dont leur température est supérieure à zéro absolu émet un rayonnement électromagnétique. Les rayonnements émis par un corps à la surface sont *réfléchi*, *absorbé* ou *transmis*. La somme de ces trois types de rayonnement est égale au *rayonnement incident*.

2.3.2.1. Les satellites

Les satellites sont des instruments indispensables en télédétection, il existe deux types à savoir : *capteur passif* et *capteur actif*.

Cependant, aucun capteur n'est sensible à toutes les longueurs d'ondes. Tous les capteurs réels ont des limites de sensibilité spectrale bien définies. Ils ont aussi des limites quant à la dimension minimale qu'un objet terrestre peut avoir pour qu'il puisse être "vu" distinctement dans les moindres détails. Cette limite est appelée résolution spatiale du capteur.

2.3.3. ANALYSE ET TRAITEMENT DES DONNEES

Le traitement des données de télédétection se fait selon deux types de classifications numériques que sont : classification non supervisée et classification supervisée.

II.4. MODELE NUMERIQUE DE TERRAIN

2.4.1. NOTION GENERALE

Un Modèle Numérique de Terrain « MNT » ou *Digital Elevation Model* « *D.E.M* » est une représentation numérique des altitudes d'une surface. Il correspond à une grille régulière de points, localisés par leurs coordonnées géographiques (longitudes et latitudes, X et Y), dont les altitudes (mesures altimétriques, Z) ont été interpolées au départ de points cotés.

Le MNT étant une représentation numérique de la surface topographique d'une zone d'étude, il est possible à l'aide d'algorithmes informatiques disponible sur de calculateur (ordinateur), d'extraire du MNT des informations sans avoir effectué des mesures sur le sol, soit même. Ces informations sont pour la plupart indispensables pour des aménagistes et favorisent une prise de décision, ils s'agissent : la pente et les courbes de niveaux. D'abord la pente est obtenue a partir des dérivés premières de l'altitude ; et en suite les courbes de niveaux sont déduite de dérivé seconde. Des plans thématiques : ligne des crêtes, les talwegs, le bassin versant peuvent être déduite d'un MNT après de calcul plus complexes.

La pente et les courbes de niveaux sont deux paramètres indispensables en hydrologie, hydrogéologie (car la pente influe sur la vitesse d'écoulement et les courbes des niveaux déterminent les chemins préférentiels des eaux) et en agriculture (ces derniers jouent un rôle sur la définition des techniques culturales à mettre en place et particulièrement pour notre travail, ils jouent aussi un rôle quant à la détermination des sites à la mise en place des

citernes d'irrigation de complément) pour une gestion durable de la topographie de la zone d'étude.

Les MNT sont utilisés dans plusieurs applications que sont : l'aménagement et urbanisme, la cartographie, la géomorphologie, la défense, le génie civil, la géologie, l'hydrologie, la télécommunication, la prévention de risque naturel (inondation et érosion).

2.4.2. ELABORATION D'UN MNT

L'élaboration d'un MNT d'une zone d'étude passe par trois grandes étapes à savoir : l'acquisition des données ; l'échantillonnage et l'interpolation (Gunie, 2002).

2.4.2.1. Acquisition des données

Les études menées par (Wise, 2000), (Carter, 1992) et (Tsai, 1991) attribuent à l'acquisition des données une grande importance, car influe sur l'exactitude d'un MNT.

Il existe plusieurs sources de données qui permettent la réalisation d'un MNT l'on retrouve parmi elles, l'imagerie Radar SRTM ; les levés topographiques ; la photogrammétrie ; le laser altimètre et l'interpolation des courbes de niveaux des cartes existantes.

Néanmoins, le choix de recourir à un type de mode d'acquisition de données citées pour l'élaboration d'un MNT dépend principalement de l'étendue de la zone d'étude, des exigences de précision et de qualité dictées par l'application ultérieure envisagée.

Ainsi, pour lancer le calcul d'un MNT, quels que soit la méthode d'élaboration de ce dernier et le logiciel utilisé, on a besoin de points cotés et de données caractéristiques du terrain, qui doivent être connus en coordonnées longitude, latitude et altitude dans un système ellipsoïdale spécifique.

2.4.2.1.1. L'imagerie radar

L'imagerie Radar permet de produire des MNT de précision supérieur, grâce à la capacité d'acquisition des données en tout temps. L'imagerie radar est la méthode privilégiée pour la construction de MNT (Dupont, 1998).

Le satellite radar dispose des capteurs actifs, et d'une particularité qui nous donne des informations numérique géographique sur la longitude (X), la latitude (Y) et altitude (Z). Les données produites par ces satellites ont une précision, qui varie de 30 m (données commerciales) et de 90 m (à télécharger gratuitement sur net) de précisions.

Dans le présent travail, nous avons utilisé le SRTM de 90 m de précision faute d'avoir accès à celui de 30 m de précision.

2.4.2.1.2. Les levés topographiques

Comme son nom l'indique, le levé topographique est une méthode d'acquisition de données qui se réalise au sol avec un GPS. A l'inverse de la précédente méthode qui utilise les capteurs télédétektés. Cependant, le levé topographique ne couvre moins d'espace, car mobilise essentiellement des moyens humains.

Par conséquent, les données récoltées sont de semis des points irréguliers effectués à des endroits caractéristiques comme : les lignes de crêtes, le talweg et les endroits de rupture de pentes.

Cette méthode fournit des données d'altitude de bonne précision, car dépend de la performance du matériel utilisé, en l'occurrence le GPS. L'utilisation locale de ces coordonnées nécessite une conversion vers le système de coordonnées locales adopté par l'utilisateur (Tahari, 2004).

2.4.2.1.3. Les courbes des niveaux de cartes existantes

L'acquisition de données partant des cartes des courbes de niveaux existantes passe par trois méthodes : le scannage, la digitalisation et la mise à jour des informations d'altitude dans la table d'attribue. Les opérations ci-dessous doivent se réaliser selon un système de coordonnées bien déterminé (Tahari, 2004).

2.4.2.2. L'échantillonnage

Un MNT est une représentation de la topographie partant des données brutes de la zone d'étude. Cependant, pour y disposer il faut être capable de calculer et où estimer l'altitude en tout point de la zone d'étude. Ce dernier ne possible qu'à l'aide d'une méthode d'interpolation, mais pour ce faire un échantillonnage sous forme de maillage est indispensable.

Selon (George & Borouchaki, 1997), la qualité d'un maillage dépend de celle des éléments qui le composent.

Il existe trois types d'échantillonnages : l'échantillonnage irrégulier, l'échantillonnage semi-régulier et l'échantillonnage régulier.

- ✓ **L'échantillonnage irrégulier** : ce type d'échantillonnage utilise un maillage irrégulier, (triangulaire). Tous les triangles irréguliers sont reliés entre eux pour former une surface entière.
- ✓ **L'échantillonnage semi-régulier** : c'est un échantillonnage, qui dispose d'un maillage permettant de s'adapter au relief de la zone d'étude.
- ✓ **L'échantillonnage régulier** : c'est un échantillonnage à maillage régulier (carré), indépendant du relief de la zone d'étude.

Nous avons utilisé l'échantillonnage régulier. Ce dernier permet d'estimer l'altitude en chaque nœud de la zone d'étude par superposition d'une grille régulière à l'aide d'une méthode d'interpolation spécifique. Ainsi, la valeur d'altitude en un point spécifique de la maille (pixel) équivaut à la valeur du nœud centrale (centroïde) de la maille concernée.

2.4.2.3. L'interpolation

Pour Zaninetti (2005), l'interpolation de surface est devenue très populaire en environnement géomatique. Deux raisons principales justifient ce succès. D'abord, les algorithmes d'interpolation sont anciens, leurs propriétés ont été abondamment étudiées par les mathématiciens, les physiciens, les biologistes, les météorologues et les géologues. Ensuite, l'estimation de surface, de densité continue à partir d'un échantillon de mesures ponctuelles est très demandée dans le domaine de l'environnement.

Nous utiliserons plutôt dans le présent travail, la définition de (Drapeau, 2000), pour qui l'interpolation est un moyen de générer l'information aux points de l'espace non enquêtés, cela pour la cartographie et l'analyse en 2 D du phénomène. Elle est indispensable lors de l'élaboration d'un MNT. Ce dernier détermine, par le calcul, l'altitude des points qui n'ont pas été mesurés sur terrain. Elle est utilisée quelle que soit la nature d'échantillonnage effectué.

Il existe de nombreuses méthodes d'interpolation qui se subdivisent en deux types d'approches déterministes et géostatistiques (Rogers, 2003).

2.4.2.3.1. Méthode d'interpolation déterministe

L'approche d'interpolation dites déterministes sont fondées sur des fonctions mathématiques qui expriment soit un facteur de pondération des valeurs d'entraînement (pondération inverse de la distance), soit une surface de tendance (polynômes, splines) voir une combinaison des deux. La méthode dite de " pondération inverse de la distance " (*Inverse Distance Weighting*

ou IDW) détermine le poids relatif des mesures environnantes dans l'estimation d'un point donné par une fonction exponentielle de la distance entre les mesures environnantes et le point à estimer. Les méthodes polynomiales constituent des surfaces polynomiales d'un ordre donné reliant les points d'entraînement. De la même manière, les méthodes splines définissant une surface de courbature minimale autour des points de mesure.

2.4.2.3.2. Méthode d'interpolation géostatistique

L'approche géostatistique est fondée sur l'idée que la variation spatiale des phénomènes continus est stochastique, mais comprend en fait une composante d'erreur (variabilité locale à distribution aléatoire) et une composante ou tendance de variabilité régionale. L'analyse statistique de l'auto-corrélation spatiale (corrélation des mesures entre elles en fonction de la distance entre paires de points) permet d'estimer et de modéliser les tendances moyennes de ces deux composantes.

Tableau n°1 illustre une brève comparaison de méthodes d'interpolation les plus utilisées, selon (Rogers, 2003).

Tableau 1: Caractéristiques des méthodes d'interpolation les plus répandues

Principales méthodes (Uni-variées)	Multi-variées	Estimations exactes	Surfaces d'erreurs	Complexité et souplesse
Méthode Déterministes				
Régression	RLMG	Non	Non	Simple
Pondération Inverse de la Distance	Non	Oui	Non	Simple
Fonction polynomiales	Non	Non	Non	Modérée
Splines (Radial Biais Fonction)	(Oui)	Oui	Non	Modérée
Méthode géostatistiques				
Krigage Simple	Cokrigage S	Paramétrable	Oui	Complexe
Krigage Ordinaire	Cokrigage O	Paramétrable	Oui	Complexe
Krigage Universel	Cokrigage U	paramétrable	Oui	Complexe

Nous distinguons les méthodes d'interpolation exacte et inexacte. Les méthodes d'interpolations exactes permettent de conserver les valeurs des données de départ et les méthodes inexactes (d'approximations), qui induisent une erreur résiduelle en chaque point d'échantillonnage initial (Gachet, 2005).

2.4.3. QUELQUES ALGORITHMES INTERPOLATIONS

Plusieurs méthodes d'interpolation sont disponibles pour créer des rasters à partir de données ponctuelles. Il y a plusieurs (10) algorithmes d'interpolation implémentés dans ArcGIS : IDW, Krige, Kriging, Natural Neighbor, PointInterp, Spline, Spline with Barriers, Topo to Raster, Topo to Raster by File, Tend, TIN et Variogram.

Les nombres d'algorithmes d'interpolation étant très élevés, nous ne saurons traiter tout sur ce travail, nous nous limiterons à quatre : IDW, TIN, Spline et Kriging.

2.4.3.1. Inverse Distance Weighted (IDW)

L'algorithme *Inverse Distance Weighted (IDW)*, elle est une méthode d'interpolation déterministe, exacte et locale. Dans cette méthode la zone d'étude est recouverte par une grille de carroyage aussi fine que possible pour représenter approximativement un espace connu.

A chaque cellule j de la grille est associé un vecteur W_j constitué de n éléments, (n représente le nombre de points de mesure). On dispose des valeurs x_i de ces n points de mesure et de la distance d_{ij} entre chaque point j de la grille et l'ensemble des points de mesure I situé à une distance critique δ définie par l'utilisateur. \hat{X}_j est la valeur estimée en J par l'interpolation, suivant la formule dans laquelle β est le paramètre d'influence défini par l'utilisateur.

$$\hat{X}_j = \frac{\sum_i \frac{x_i}{d_{ij}^\beta}}{W_j} \text{ avec } W_j = \sum_i \frac{1}{d_{ij}^\beta}$$

Dans cette expression l'augmentation de β augmente l'effet de frottement de la distance (*distance decay function*) et réduit l'influence des points les plus éloignés dans les limites du rayon δ de la recherche (Zaninetti, 2005).

2.4.3.2. Triangulated Irregular Network (TIN)

L'algorithme *Triangulated Irregular Network (TIN)* est un algorithme qui permet d'abord de calculer l'altitude de points intermédiaires ne faisant pas partie des échantillons de départ. Ces points sont interpolés à partir des sommets de triangle qu'ils appartiennent. L'interpolation consiste alors à l'intersection d'une droite verticale passant par les coordonnées longitude et latitude du point interpolé et le plan du triangle afin de déterminer l'altitude du point interpolé. Ensuite il permet aussi de transformer le modèle TIN vecteur en modèle TIN Raster, dans ce cas, il s'agit de plaquer une grille régulière sur le modèle TIN vecteur et de

calculer pour chacun de maille une altitude. Cependant, après l'interpolation on constate de cassure dans la surface interpoler.

2.4.3.3. Spline

L'algorithme *Spline* c'est un algorithme qui effectue l'interpolation polynomiale par morceaux. L'algorithme minimise la courbure de la relation tout en s'assurant que chaque point donné conserve sa valeur. Cette méthode d'interpolation est appropriée si les variables spatiales de la variable sont relativement faible (au cas contraire, il ya de surestimation).

2.4.3.4. Kriging

L'algorithme *Kriging* est un algorithme basé sur les techniques de géostatistique pour calculer l'auto-corrélation entre les points des mesures. Il utilise à la fois l'éloignement et la variance des valeurs représentées. Cette méthode se distingue des autres méthodes, par ces caractéristiques d'estimation non biaisée et d'estimation d'une variance associée. Cette méthode prend en compte le comportement spatial spécifique de la variable étudiée, de plus cet algorithme peut impliquer des grandes puissances de calcul.

2.4.4. QUALITE D'UN MNT

La qualité d'un MNT dépend de plusieurs facteurs que sont : les données de références et les méthodes interpolations utilisées.

Ainsi, la qualité d'un MNT est évaluée par la racine de l'erreur moyenne quadratique ou *root mean square error* notée **RMSE**, donnée par la formule suivante :

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n (Z_i - Z_0)^2}$$

Avec : Z_i : Altitude interpolées

Z_0 : Altitude du SRTM brut

III.1. CARACTERISTIQUES DE LA ZONE D'ETUDE

III.1.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE

Le bassin versant de Tougou est localisé dans le bassin supérieur de Nakambé, à l'est de la province de Yatenga dans la partie nord du Burkina Faso.

Le bassin versant est compris entre les latitudes Nord 13°11' et 13°26' et les longitudes Est 2°6' et 2°24', soit donc une superficie de 37 Km². Il est limité au nord par le village de Koumbané ; au sud par la commune rurale de Namissiguima ; à l'est par le barrage routier de Tougou et le village de Sologom et à l'ouest par le village de Rapougma.

La figure ci-dessous montre la localisation de la zone d'étude

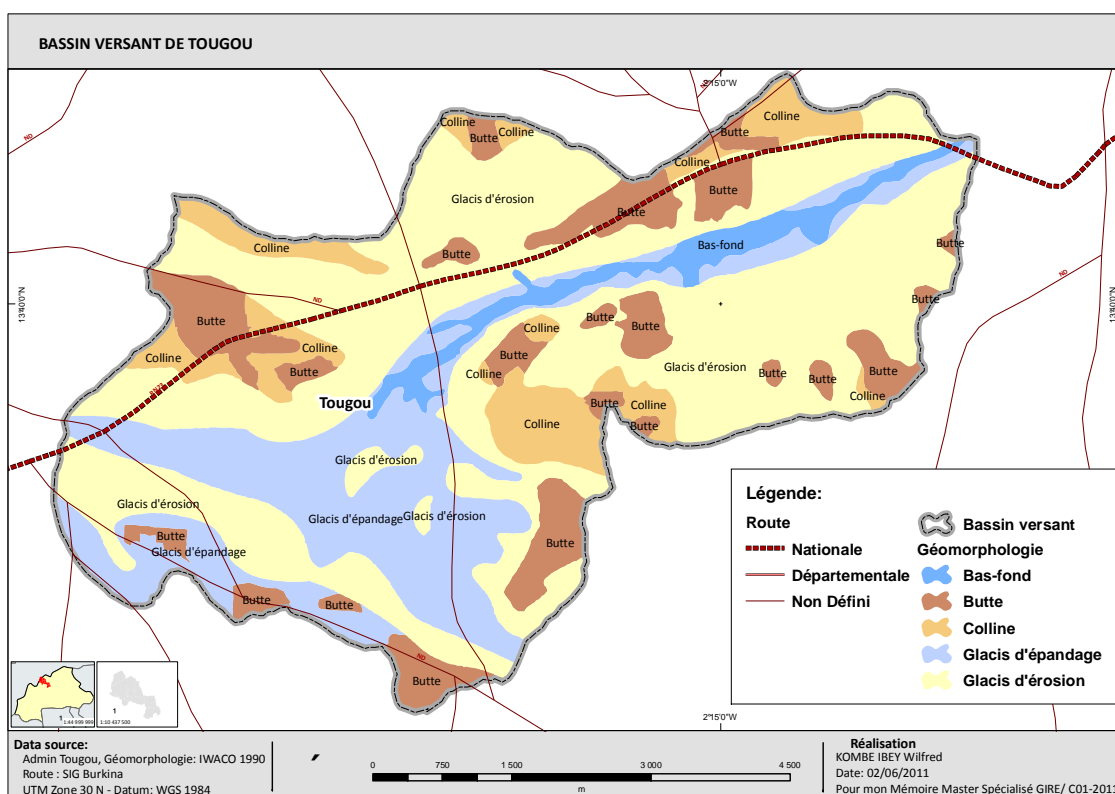


Figure 3 : La localisation de la zone d'étude.

III.1.2. CADRE CLIMATIQUE

Localisé dans la province de Yatenga au du nord de Burkina Faso, le Bassin versant de Tougou a un climat de type sahélien avec une saison de pluie qui commence généralement de mai-juin à septembre et une longue saison sèche le reste de l'année durant laquelle souffle un vent chaud, sec et chargé de poussière, originaire du désert du Sahara, (l'harmattan).

Les données hydrométéorologiques ci-dessous sont des moyennes obtenues sur une période de 6 ans, soit de 2004 à 2010. Elles ont été fournies par la station météorologique du bassin versant de Tougou et se présentent comme suit :

- Pluviométrie (moyenne 2004 – 2010): 596,9 mm/an
- Température moyenne : 29 °C
- Insolation : varie entre 8,7 à 10 heures
- Evaporation (moyenne sur 2005 - 2008) : 985,5 mm/an

III.1.3. SOL

Au regard de sa structure géomorphologique, le bassin versant de Tougou présente trois types de sols. Les différentes unités des sols décrit selon (Semde, 2004) sont :

- Les sols *Hydromorphes* (40,2 %) qui sont très argileux, localisé au niveau de bas-fond ;
- Les sols *Minéraux bruts* (34,8 %), représentés par des lithosols, ils sont gravillonnaire localisé sur les collines y compris les buttes collinaires et
- Les sols *Peu évolués* (24,8 %), appartient à la catégorie des sols à textures sablo-argileux, sablo-argilo-limoneux et sablo-gravillonnaire. Ils sont localisés sur les versants.

III.1.4. RESEAU HYDROGRAPHIQUE

Le bassin versant de Tougou est constitué d'un réseau hydrographique peu dense. La principale rivière qui draine le bassin versant est « Bilampouang ». Cette dernière se jette dans le barrage de Tougou. Elle a un régime temporaire, qui s'arrête peu après la fin de la saison d'hivernage et tarit entre le mois de février et mars (Magloire, 2006).

La figure n°4 montre l'hydrographie et quelques équipements hydrométéorologiques :

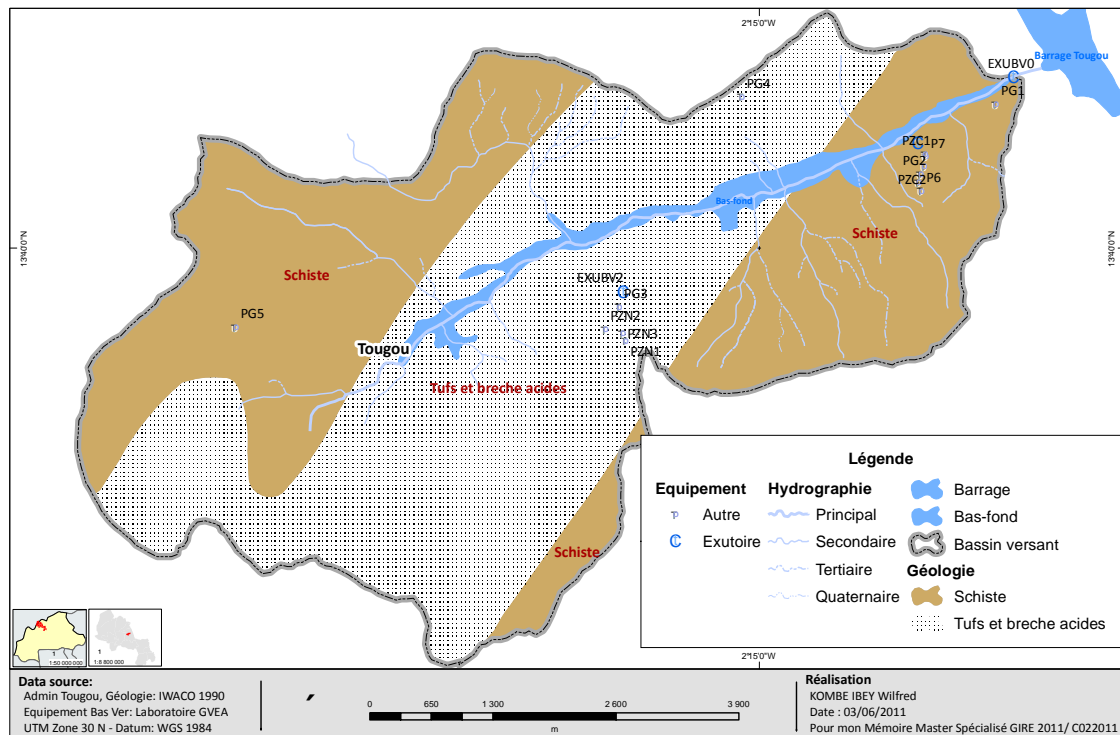


Figure 4 : Hydrographie et géologie du Bassin versant de Tougou

III.1.5. CONTEXTE GEOLOGIQUE

Les études géologiques menées sur la zone d'étude telle que décrite par (IWACO, 1990) s'accordent sur le fait que la structure géologique du bassin versant de Tougou est globalement simple. Le bassin est constitué de Schiste au milieu desquels on trouve une large bande composée de tufs volcaniques et brèches acide on différenciés sur la carte compte-tenu de la complexité d'arrangement. Au nord du village Tougou, la présence d'un dyke méta-basique intrusif affleurant à sub-affleurant, situé sur la ligne de partage des eaux.

III.1.6. CONTEXTE GEOMORPHOLOGIQUE

Le contexte géomorphologique de bassin versant de Tougou est caractérisé par deux grandes unités, qui sont des buttes cuirassées et les glacis (Semde, 2004).

Le tableau ci-après reprend un bref aperçu des contextes géomorphologique, géologiques du bassin versant de Tougou.

Tableau 2 : Contexte géologique, géomorphologique et sol de Tougou

Géomorphologie		Géologie	Processus pédogénèse	Sols
Relief résiduel	buttes cuirassées	cuirasses ferrugineuses issue des roches acides : granites, migmatites, gneiss	Cuirassement, démantèlement physique et colonisation des fissures par les racines des plantes (unité 2)	89% LC, 5.5% FLIS et 5.5% FLIPP
Surfaces fonctionnelles	glacis	matériaux de type kaolinitique issu de roches acides variées.	Ferrugination, lessivage, concrétionnement, induration (unité 4)	84% FLI, 8% FLC,
			Ferrugination, lessivage, concrétionnement, induration (unité 7)	32% FLIP, 29% FLIPP, 27% FLIMP, 6% FLIS, 4% FLC
			Ferrugination, lessivage, concrétionnement, hydromorphie localisée (unité 11)	34% FLH, 30% FLTC, 19% FLI, 8% FLM, 5% PEAA

Source : (Semde, 2004)

III.1.7. VEGETATION

La végétation retrouvée dans le bassin versant de Tougou est essentiellement constituée de savane avec un taux de couverture très dense, entrecoupées de steppes arbustive et steppe arboré de faible densité et dimensions, on y trouve aussi le bois sacré.

Cependant, la répartition des formations végétales ci haut différent selon qu'elles sont portées sur divers sols. Les savanes sont localisées dans le bas-fond et les bordures des cours d'eau ; les steppes arbustives sont localisées sur les versants des buttes ; les collines et les vieilles jachères et enfin les steppes arborées sont retrouvées sur les bas de glacis et certains endroit dégradés.

La strate savanicoles arborées est dominées par les *Acacia albida* ; *Lannea microcarpa* ; *Vitellaria paradox* ; *Tamarindus indica*, *Balanites aegyptiaca*, *Sclerocarya birrea*,

Combretum micranthum et *Piliostigma reticulatum* ; *Jatropha curcas*, *Azadirachta indica*, *Guiera senegalensis* et *Lannea microcarpa*.

La strate steppique est dominée par les *Combretum micranthum* et *Combretum glutinosum* (Magloire, 2006).

III.1.8. AGRICULTURE

L'agriculture est la principale activité effectuée dans le bassin versant de Tougou. Cette dernière assure l'économie de subsistance des populations. Dans le bassin, les plantes cultivées dépendent essentiellement des caractéristiques physico-chimiques des sols et de la quantité d'eau disponible durant l'année. Les différentes cultures que l'on rencontre dans le bassin versant de Tougou sont : les arachides, le sésame, le maïs, le mil et le sorgho.

III.2. MATERIELS

3.2.1. DONNEES ALPHANUMERIQUES

Nous avons utilisé des données météorologiques de la station de Tougou (pluviométrie, évaporation, infiltration, coefficient de ruissellement) pour les périodes allant de 2004 à 2010. Nous avons aussi utilisé des données des travaux antérieurs réalisés dans le bassin versant de Tougou.

3.2.2. DONNEES SPATIALES ET CARTOGRAPHIQUES

Ces données sont : une image *SRTM* du bassin versant de Tougou, scène 36-10 du 07042011; des images *Landsat* scènes : L7p196r051-20030201 (1) et L7p195r050-20010803 (2) ; des cartes géologique ; géomorphologique ; hydrographique, d'occupation des sols des années (1952 et 1973) et la limite administrative du bassin versant de Tougou réalisées par (IWACO, 1990).

3.2.3. LOGICIELS

Pour la réalisation de notre travail, nous avons utilisé quatre logiciels que sont :

- ✓ Le logiciel de traitement de données *Microsoft Excel 2007*, pour l'analyse de nos données météorologique de la station de Tougou;
- ✓ Le logiciel de traitement d'image satellites *ENVI 4.4*, pour l'analyse et la classification des images diachroniques de la végétation du bassin versant de Tougou ;
- ✓ Le logiciel SIG *Arc GIS 9.3* d'ESRI, pour la cartographie numérique.

III.3. METHODES

La démarche méthodologique adoptée dans ce travail est l'Analyse Multicritère et quelques méthodes auxiliaires (Système d'Information Géographique et Télédétection), qui visent la production des critères utiles à cette dernière.

3.3.1. ANALYSE MULTICRITERE

3.3.1.1. Notion générale

L'Analyse Multicritère (AMC) est un outil d'aide à la décision développé pour résoudre des problèmes multicritères complexes qui incluent des aspects qualitatifs et/ ou quantitatif dans un processus décisionnel (Guillermo A. Mendoza, 2000).

Pour (Laaridi, 2000), l'AMC met à contribution le décideur (le ministère, les institutions et ONG) et l'homme d'étude dans un même processus. Elle offre les moyens nécessaires pour que le décideur et l'homme d'étude puissent en fin de compte être la même personne. Elle a l'avantage de considérer le territoire auquel se réfère le problème étudié, dans son ensemble et non seulement les objets spatiaux à évaluer. Une telle démarche est appropriée aux problèmes décisionnels sur le territoire qui se caractérisent par leur complexité et pour lesquels la prise en considération d'outils et de méthodes d'aide à la décision est nécessaire, notamment en ce qui concerne les aménagements intégrés de bassin versant.

Dans le cadre de notre travail, nous nous sommes basés sur l'utilisation de l'Analyse Multicritère pour mettre en évidence des zones susceptibles d'être aptes à la mise en place des citernes d'irrigation de complément dans le bassin versant de Tougou. Cette approche méthodologique s'intègre dans un processus de Système d'Aide à la Décision à Référence Spatiale (SADRS), qui a pour objectif la production des données cartographiques précises.

La localisation des sites favorables à l'implantation des citernes d'irrigation de complément passe par la collecte des données (images SRTM et Landsat), la modélisation (élaboration des critères, classification des critères, élaboration des cartes des critères, pondérations des indicateurs, élaboration des cartes de décisionnelles) et l'agrégation ou fusion des indicateurs (production de cartes finales).

La production des cartes thématiques des sites favorables à l'implantation des citernes d'irrigation de complément dans le bassin versant de Tougou sera réalisée selon une approche d'agrégation par codification, qui consiste à faire correspondre à chaque classe un

code spécifique, qui au final sont additionnés avec ceux des autres classes (Jourda J.P., 2001). Les différentes étapes d'intégration d'une AMC sont :

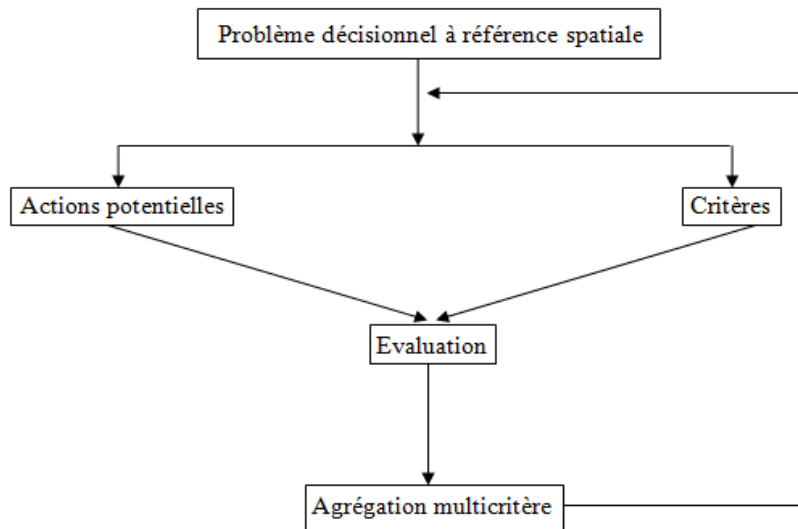


Figure 5 : Approche multicritère avec SIG, (Laaridi, 2000)

3.3.1.2. Elaboration des critères

Les critères ci-dessous sont retenus pour guider le choix de sites favorables à l'implantation des citernes d'irrigation de complément dans le bassin versant de Tougou :

- ✓ Altitude ;
- ✓ Taille des champs ;
- ✓ Infiltration des sols ;
- ✓ Occupations des sols ;
- ✓ Proximité aux champs ;
- ✓ Pente ;
- ✓ Ruissellement par parcelles et
- ✓ Type des spéculations.

3.3.1.3. Classification des critères

Dans cette étape, nous traitons les critères ci haut, dans le but de les évaluer et les classer selon leurs aptitudes à l'implantation des citernes d'irrigation de complément.

3.3.1.3.1. Altitude et irrigation de complément

Nous partons de l'hypothèse que, « les zones des grandes altitudes seraient propices pour l'implantation des citernes d'irrigation de complément ». En effet, les eaux issue des ces

citernes seraient utilisées par les exploitants agricoles sous forme gravitaire, cela réduirait les coûts d'exploitation. Le tableau n°3 reprend les classes d'altitude retrouvées dans le bassin versant de Tougou après l'élaboration d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT) :

Tableau 3 : Classification d'altitude et irrigation de complément

Altitudes (m)	Evaluation des critères d'altitudes	Aptitude à l'implantation des citernes d'irrigation de complément
320 – 333	Faible	Peu importante
334 – 345	Moyenne	Moyennement importante
>346	Forte	Importante

3.3.1.3.2. Taille des champs et irrigation de complément

Pour réduire le risque de conflit d'usage entre paysans dans l'utilisation des citernes d'irrigation de complément, il est souhaitable d'avoir une faible superficie des champs qui s'y partagent la ressource. Cette situation vise l'utilisation de l'eau stockée de manière durable.

Le tableau n°4 nous donne la taille de champs :

Tableau 4 : Taille des champs et irrigation de complément

Taille des champs (ha)	Evaluation des critères de taille de champs	Aptitude à l'implantation des citernes d'irrigation de complément
[0 – 0,5]	Faible	Importante
[0,6 – 1]	Moyen	Moyennement importante
>1	Forte	Peu importante

3.3.1.3.3. Infiltration des sols (parcelles) et irrigation de complément

Comme évoqué dans le deuxième chapitre, l'infiltration de sol est un paramètre très important dans le choix de site destiné à l'implantation des citernes d'irrigation de complément. Les données sur l'infiltration ci-dessous sont tirées de (BADOU, 2006).

Le tableau n° 5 montre l'influence des critères d'infiltrations sur site favorable à l'implantation des citernes d'irrigation de complément :

Tableau 5 : Infiltration des sols et irrigations de complément

Infiltration des sols (Parcelles de 1m²)	Evaluation des critères des d'infiltration du sol	Aptitude à l'implantation des citernes d'irrigation de complément
PZC1	Forte	Peu importante
PZC2	Forte	Peu importante
PZC3	Forte	Peu importante
PZN1	Faible	Importante
PZN2	Faible	Importante
PZN3	Faible	Importante

3.3.1.3.4. Occupations des sols et irrigation de complément

L'occupation de sols renseigne sur l'utilisation du sol dans le bassin versant de Tougou. Ces paramètres à été trouvé après classification des images Landsat de la zone d'étude.

Le tableau n°6 nous donne les classes des sols du bassin versant de Tougou :

Tableau 6 : Occupations des sols et irrigations de complément

Occupations des sols	Evaluations des critères d'occupations des sols	Aptitude à l'implantation des citernes d'irrigation de complément
Zone cultivée	Forte	Peu importante
Zone arbustive	Moyenne	Moyenne importante
Zone non cultivée	Faible	Importante

3.3.1.3.5. Proximité aux champs et irrigation de complément

Nous partons de l'hypothèse, que les champs proches des sites sélectionnés seront bien servis en eau d'irrigation de complément des citernes, mais pour ce faire ils doivent en outre répondre aussi aux autres critères cités. Ce paramètre ne sera évalué qu'après avoir retenu un site du point de vue des autres critères.

Le tableau 7 reprend les critères des proximités des champs :

Tableau 7 : Proximité aux champs et irrigations de complément

Proximité aux champs (Km)	Evaluations des critères de proximité aux champs	Aptitude à l'implantation des citernes d'irrigation de complément
[0 – 0,5]	Faible	Importante
[0,6 – 1]	Moyenne	Moyenne importante
>1	Forte	Peu importante

3.3.1.3.6. Pente et irrigation de complément

La pente est un paramètre qui détermine la vitesse d'écoulement. Elle joue un rôle important avec la raideur et la longueur. Le géomorphologue reconnaît que la pente intervient dans les phénomènes d'érosion du fait de sa forme, de son inclinaison et de sa longueur (FAO, 1994).

Roose (1967) montre que la pente a un effet sur le ruissellement et l'érosion, tableau ci-dessous :

Tableau 8: Effet de la pente sur le ruissellement (KR%) et l'érosion (t/ha/an) d'après (Roose, 1967)

Pente (%)	Ruissellement moyen annuel (%)	Erosion moyenne (t/ha/an)
1,25	7	5,0
1,50	22	8,6
2,00	30	12,0

Néanmoins, dans ce travail nous nous intéressons aux effets positifs de la pente, qui à travers de faible pourcentage favorise un ruissellement adéquat, qui est indispensable pour approvisionner nos citernes en eau et permettre l'irrigation de complément des champs.

Le tableau n°9 nous indique les critères des pentes et l'aptitude à l'implantation des citernes d'irrigation de complément :

Tableau 9: Pente et irrigation de complément

Altitude (m)	Pentes (%)	Evaluation des critères de pente	Aptitude à l'implantation des citernes d'irrigation de complément
320 – 333	1,6	Faible	Peu importante
333 – 345	2,7	Moyenne	Importante
>346	3,2	Forte	Moyennement importante

3.3.1.3.7. Ruissellement par parcelle et irrigation de complément

Le bassin versant de Tougou est subdivisé en plusieurs parcelles expérimentales des ruissellements. Ces parcelles sont codées : Parcelle Zone cultivé (PZC) et Parcelle Zone non cultivé (PZN). Les valeurs des ruissellements utilisés dans ce travail sont tirées de travaux de (BADOU, 2006).

Le tableau n°10 nous donne les critères des ruissellements de parcelle et aptitude à l'implantation des citernes d'irrigation de complément :

Tableau 10: Ruissellement par parcelle et irrigation de complément

Ruissellement par parcelles	Evaluation des critères de ruissellement	Aptitude à l'implantation des citernes d'irrigation de complément
PZC1	Très faible	Peu importante
PZC2	Très faible	Peu importante
PZC3	Très faible	Peu importante
PZN1	Forte	Importante
PZN2	Forte	Importante
PZN3	Forte	Importante

3.3.1.3.8. Spéculations agricoles et irrigation de complément

Comme évoqué dans le deuxième chapitre, nous ne pouvons réaliser l'irrigation de complément, que sur les plantes économiquement rentables. Le tableau suivant illustre les spéculations devant bénéficier de l'irrigation de complément :

Tableau 11: spéculations agricoles et irrigation de complément

Spéculations agricoles	Evaluations des critères de spéculations	Aptitude à l'implantation des citernes d'irrigation de complément
Mil	Faible	Pas important
Sorgho	Faible	Pas important
Maïs	Forte	Importante

3.3.1.4. Pondération des critères et indicateurs

L'objectif de cette étape est de regrouper les critères, qui appartiennent à un même indicateur, leurs attribués de poids (valeurs numériques, qui varie de 0 à 1 ou 1 est la borne supérieur maximale) de sorte à comparer les critères deux à deux.

Le tableau 12 montre l'attribution des poids des critères selon leurs indicateurs :

Tableau 12: Pondération des critères en fonction des indicateurs

Indicateurs	Critères	Classes	Poids	Aptitude à I.C	
<i>Potentialité à I.C</i>	Altitudes (m)	320 –333	0,10	<i>Peu importante</i>	
		334 – 345	0,15	<i>Moy. Importante</i>	
	> 346	0,75	<i>Importante</i>		
		-----	1		
	Pente (%)	1,6	0,05	<i>Peu importante</i>	
		2,7	0,75	<i>Importante</i>	
3,2		0,20	<i>Moy. Importante</i>		
		-----	1		
Ruissellement des parcelles	PZC1 } PZC2 } PZC3 }	0,25	<i>Moy. Importante</i>		
	PZN1 } PZN2 } PZN3 }			0,75 ----- 1	<i>Importante</i>
Infiltration des sols	PZC1 } PZC2 } PZC3 }	0,25	<i>Moy. importante</i>		
	PZN1 } PZN2 } PZN3 }			0,75 ----- 1	<i>Importante</i>
Occupations des sols	Zone cultivée	0,05	<i>Peu importante</i>		
	Zone arbustive non cultivée	0,20	<i>Moy. Importante</i>		
		0,75 ----- 1	<i>Importante</i>		
<i>Potentialité à l'irrigation de complément importante</i>					

<i>Exploitableté à I.C</i>	Type des spéculations	Mil	0,10	<i>Pas important</i>
		Sorgho	0,15	<i>Pas important</i>
		Maïs	0,75	<i>Importante</i>

			1	
<i>Exploitableté à l'irrigation de complément importante</i>				
<i>Accessibilité à I.C</i>	Proximité aux champs (Km)	[0 – 0,5]	0,65	<i>Importante</i>
		[0,6 – 1]	0,25	<i>Moy. Importante</i>
		>1	0,10	<i>Peu importante</i>

			1	
	Taille des champs (ha)	[0 – 0,5]	0,75	<i>Importante</i>
		[0,6 – 1]	0,15	<i>Moy. Importante</i>
		>1	0,10	<i>Peu importante</i>

			1	
<i>Accessibilité à l'irrigation de complément importante</i>				

Un site est déclaré propice à l'implantation d'une citerne d'irrigation de complément, si tous les indicateurs des critères présentent des *aptitudes importantes*.

Site d'implantation de citerne d'I.C = Indicateur Potentiel + Indicateur Exploitableté + Indicateur Accessibilité = Aptitude Importante.

IV. RESULTATS ET INTERPRETATIONS

4.1. METHODE DES CHOIX DE SITES

Nous avons vu que pour qu'un site soit déclaré propice à l'implantation d'une citerne d'irrigation de complément, il doit remplir les critères suivants : la topographie ; la pente ; les types d'occupations de sols ; l'infiltration des sols ; le ruissellement des sols ; le types des spéculations ; la distribution des champs et la proximité au champ.

4.1.1. Niveau d'aptitude par critères

4.1.1.1. Topographie

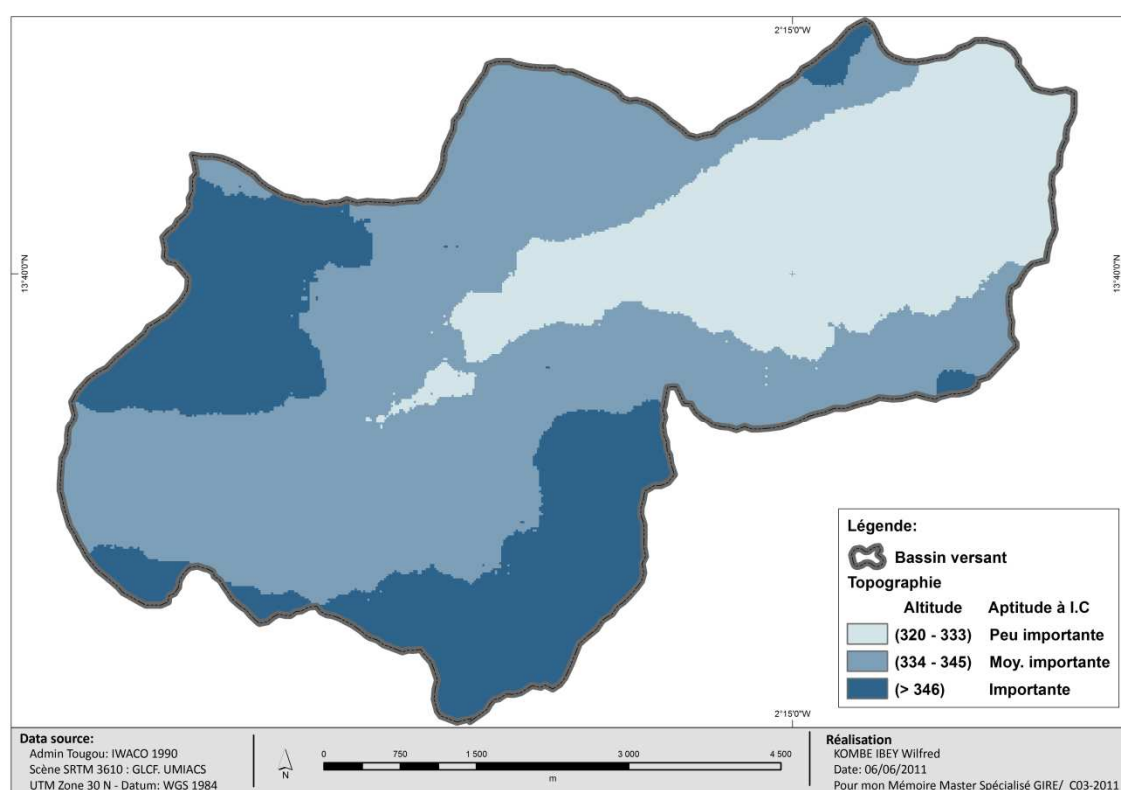


Figure 6 : Critère de topographie

La lecture de la figure 6 montre, que 24,3% de terres du bassin versant de Tougou sont comprises entre les altitudes supérieures à 345 m ; de part leurs élévations ces terres ont des aptitudes importantes et peuvent servir des sites pour l'implantation des citernes d'irrigation de complément de type *macro-système*.

Cependant, 49,7% de terres sont localisées dans les altitudes comprise entre 334 à 345 m ; ces dernières présentent des aptitudes moyennement importantes et sont aptes pour servir des sites

d'implantations des citernes d'irrigation complément à type *microsystème* et 26,0 % de terre sont comprises entre les altitudes inférieurs ou égale à 333 m, ces terres ne sont pas aptes à recevoir des citernes d'irrigation de complément et ou un type des systèmes d'irrigation de complément.

4.1.1.2. Pente

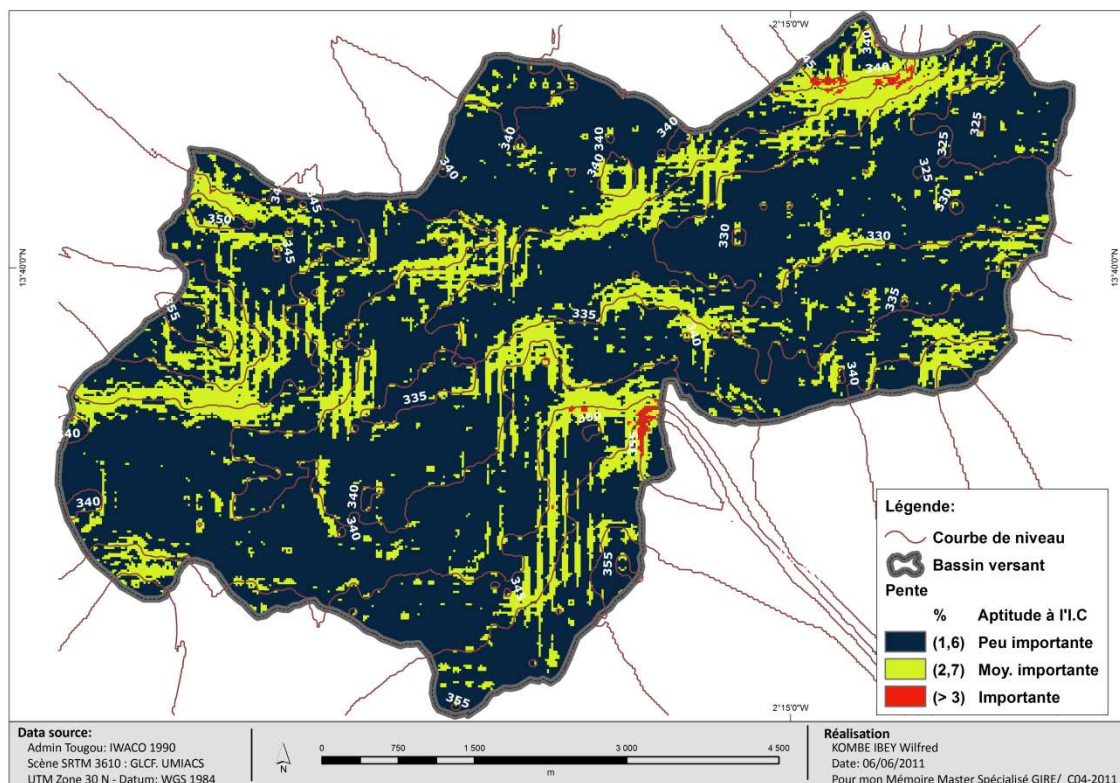


Figure 7 : Critère de la pente

La lecture de la figure 7 montre, que 26,0 % des sols du bassin versant de Tougou sont comprises entre une pente de 1,6 % ; cette pente est peu importante de servir des sites pour l'implantation des citernes d'irrigation de complément.

Cependant, 49,7 % des terres sont comprises entre les altitudes de 336 à 345 m et présente une pente d'environ 2,7 %, ces terres présentent des aptitudes importantes à servir des sites d'implantation des citernes d'irrigation de complément pour les cultures , car ces derniers sont non loin de système de cultures et 24, 3 % de terres sont localisées dans les dénivellations supérieures à 346 m et présentent des pentes d'environ 4 %; ces sols ont des aptitudes moyennement importante de servir des sites à l'implantation des citernes d'irrigation complément, ils reposent sur un substrat à croûte d'érosion et gravillonnaire susceptible de départ d'érosion hydrique.

4.1.1.3. Occupation des sols

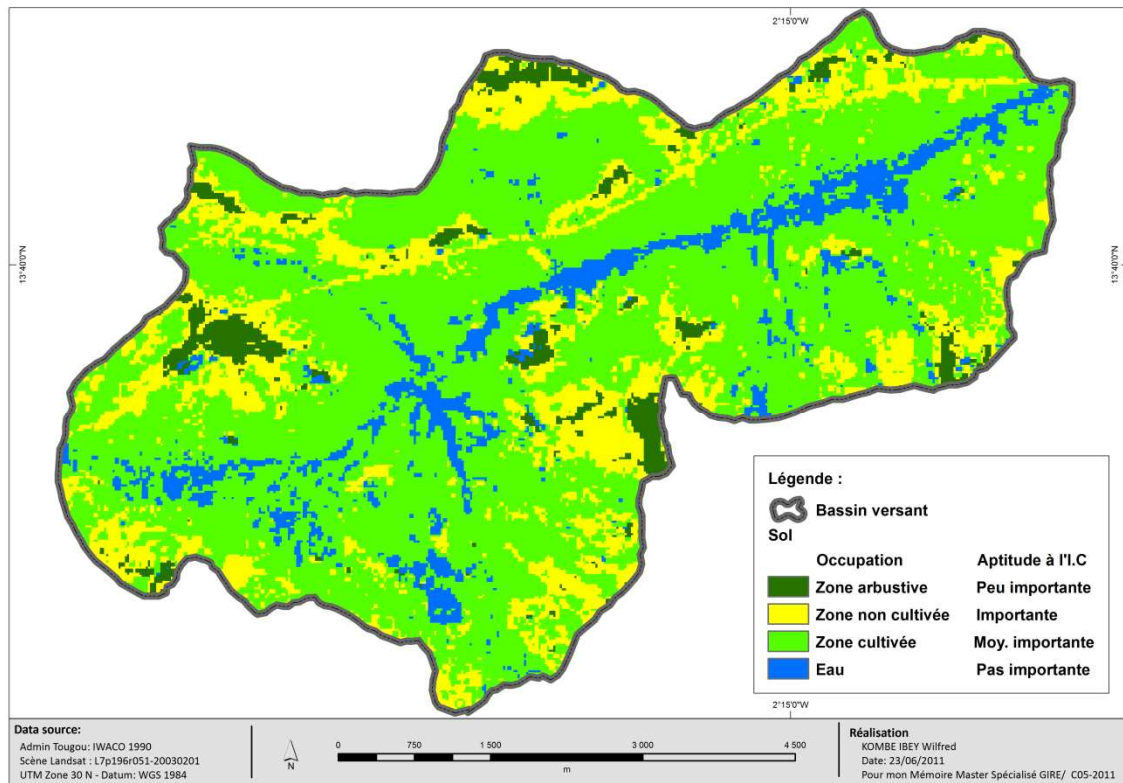


Figure 8 : Critère d'occupation des sols

La figure ci-dessus montre l'occupation des sols dans le bassin versant de Tougou, les différentes classes sont regroupées en : zone arbustive 11 % ; zone de culture 58% ; zone non cultivé (les routes ; les pistes ; les zones nus et zone herbeuses) comprend 22 % et la surface d'eau libre est d'environ 7 %.

Au regard de cette classification, les endroits favorables à l'implantation des citernes d'irrigation de complément, seraient sur les zones non cultivées. Cependant, il y a lieu de signaler que outre l'occupation de sols, d'autres critères d'aptitude sont nécessaires pour le choix de site favorable à l'implantation des citernes d'irrigation de complément dans le bassin versant de Tougou, pour servir de stockage des eaux pour l'irrigation des cultures en aval.

4.1.1.4. Infiltration des sols

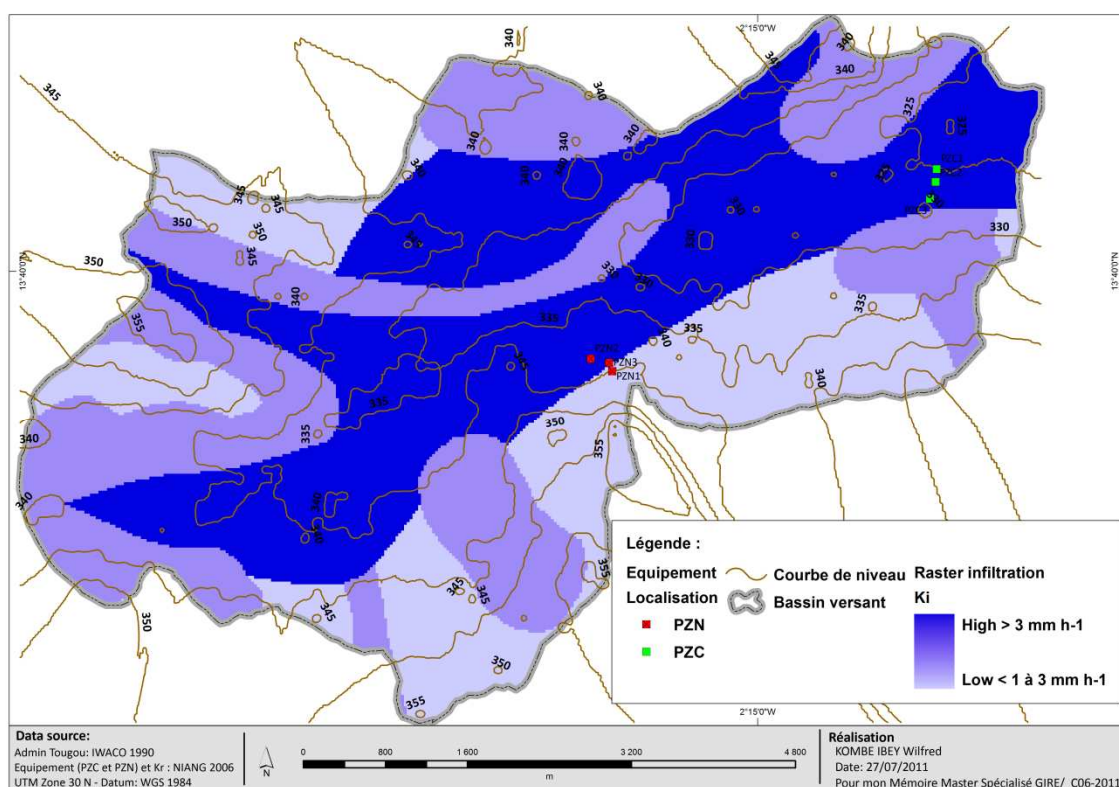


Figure 9 : Critère d'infiltration des sols

La figure ci-dessus montre l'évolution spatiale de l'infiltration par parcelles sur les zones non cultivées (PZN 1, PZN 2 et PZN3) et les zones cultivées (PZC 1, PZC 2 et PZC3). Nous remarquons qu'il y a assez d'infiltration sur les sols Hydromorphes (*polygones bleu*), comme démontrent les parcelles de 1 m² localisées en zone de culture, sur les dénivellations comprises entre 325 et 330 mètre. Ces infiltrations sont dues à la structure, la texture et la présence des activités des microfaunes. Par ailleurs, à l'état actuel de la recherche les données de parcelles de 1 m² sur ces zones peuvent être extrapolées sur les mêmes types des sols, bien que présenterait une marge d'erreur acceptable.

Cependant, sur les sols peu évolués, il y a peu d'infiltration, d'ordre de 1 à 3 mm h⁻¹ car là il y a une baisse des activités des microfaunes dues à la structure et la texture de cette partie du bassin, soient sols à croute gravillonnaire et à croute d'érosion (Dial, 2006).

Les conditions d'infiltration ci-dessus montrent que les terres qui avoisinent les parcelles des zones non cultivées du bassin pourraient servir à la mise en place de citernes d'irrigation de complément, car outre les autres paramètres (qui doivent être remplis), le faible taux d'infiltration permettrait de bien maintenir l'eau des citernes d'irrigation de complément.

4.1.1.5. Ruissellement des parcelles (sols)

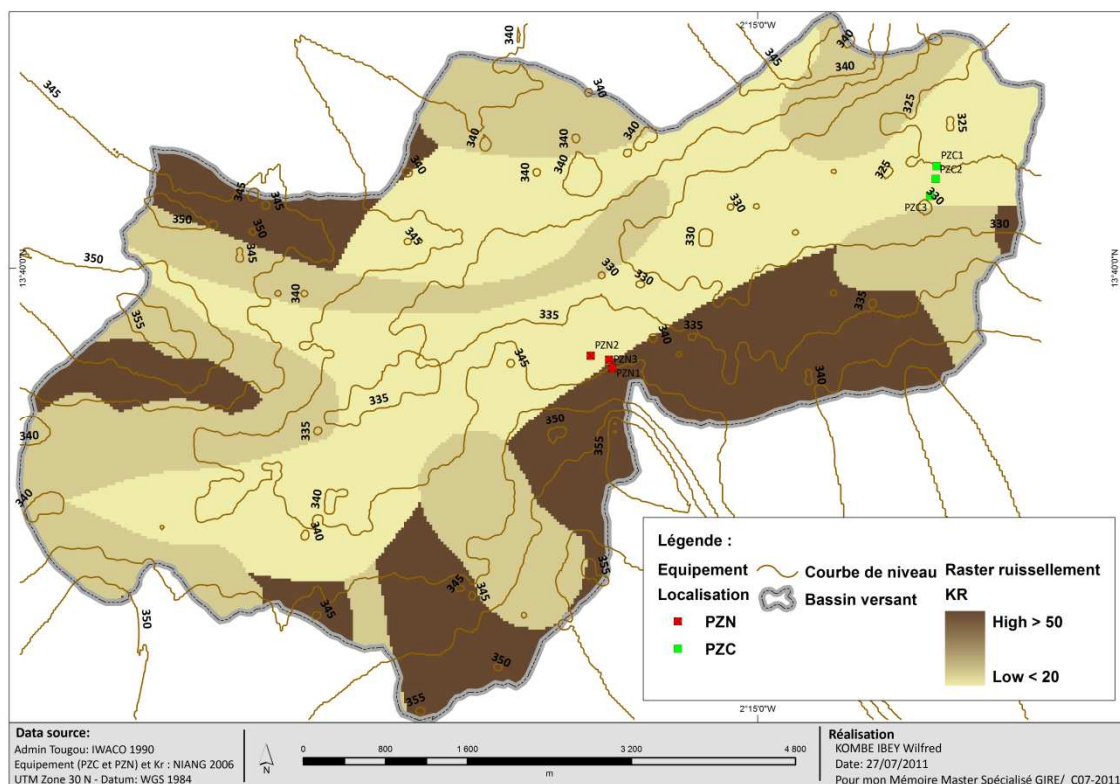


Figure 10 : Critère de ruissellement

La figure 10 montre l'évolution spatiale du coefficient de ruissellement (K_r) des parcelles. Les coefficients de ruissellements présentés sur cette figure tirent l'origine du travail réalisé sur le bassin versant de Tougou (Dial, 2006).

La carte, nous montre que les coefficients de ruissellements sont inférieurs à 50% sur quatre parcelles dont (PZC 1, PZC 2, PZC 3 et PZN 3), par conséquent ils sont de plus de 50% sur les autres parcelles du bassin versant de Tougou.

4.1.2. Habitude socio-économique et culturelles des paysans

Dans le bassin versant de Tougou, les spéculations agricoles qui s'y trouvent dépendent principalement de la saison culturale, mais ces dernières ne sont pas figées. Les paysans sont responsables des spéculations à cultiver. Néanmoins, de toutes les cultures mises en champs, seul le maïs est la culture qu'on irrigue. Par conséquent, seul le champ de maïs bénéficiera de citernes d'irrigation de complément.

4.2. CARTOGRAPHIE DES SITES FAVORABLES A L'IMPLANTATION DES CITERNES D'IRRIGATION DE COMPLEMENT

La cartographie des sites favorables à la mise en place des citernes d'irrigation de complément est une agrégation de carte décisionnelle. La figure suivante montre les sites favorables à la mise en place des citernes d'irrigation de complément en deux dimensions (*figure 12*) dans le bassin versant de Tougou.

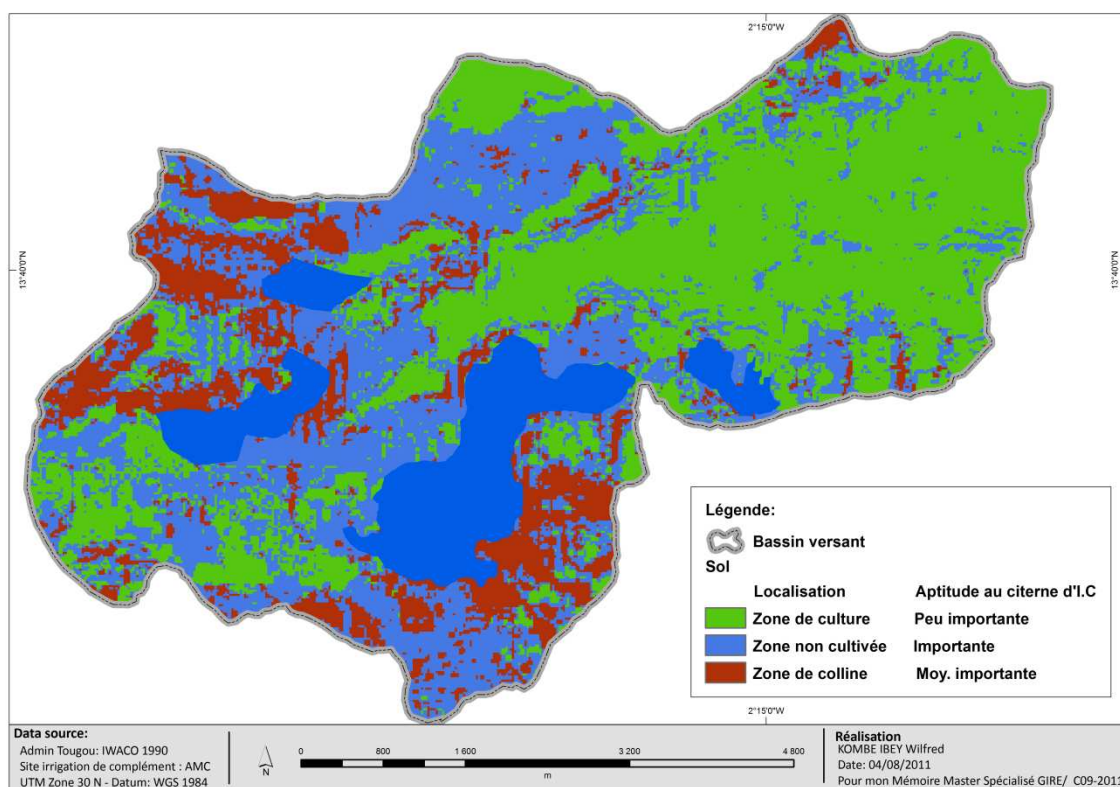


Figure 11 : localisation des sites favorables à l'implantation des citernes d'irrigation de complément

La figure ci-dessus, nous montre les sites favorables à l'implantation des citernes d'irrigation de complément, *site favorable à l'irrigation de complément* (polygone bleu). Ces sites reposent sur un sol peu évolué.

Les études menés par (Y. Dembele & L. Somé, 1991) attribue à ce sol une vitesse d'infiltration en fonction de la texture.

En comparaison avec les autres parties du bassin, ces sites sont favorables, parcequ'ils reposent sur un sol peu filtrant, en aval de sols à matériaux bruts qui crée un ruissellement supérieur à 50% d'une part et avec une forte dénivelé, qui leurs donnent les possibilités d'alimenter des champs de cultures en eau par système gravitaire, par de moyen de pompe

d'eau à pédale, mais aussi les paysans peuvent récupérer de l'eau avec des arrosoirs d'autre part.

L'extrême ouest, sud-ouest et nord-ouest du bassin versant est constitué de terres collinaires, quelques roches, qui reposent sur les sols à matériaux bruts (*site peu favorable à l'irrigation de complément*). Installer des citernes d'irrigations à ce niveau serait accroître à les risques des pertes des sols par érosions hydriques et des éboulements des sols.

Cependant, les parties centrale et Est (*site non favorable à l'irrigation de complément*) du bassin versant de Tougou sont portées par un substrat hydromorphe avec des dénivelés faibles, qui est associé à de bonnes terres et favorisent davantage les travaux des champs.

CONCLUSION ET PERSPECTIVE

Ce travail a eu pour objectif de proposer un modèle spatial et de cartographier des sites favorables à l'implantation des citernes d'irrigation de complément.

Au terme de notre travail, il ressort que les sites favorables à l'implantation des citernes d'irrigation de complément sont localisés à Tougou respectivement sur un sol peu évolué, avec un faible taux d'infiltration de l'ordre de 1 à 3 mm h⁻¹, sur des pentes moyennes dont le pourcentage est estimé à 2,7 sur montées de sols à matériaux bruts, qui présentent un coefficient de ruissellement supérieur à 50%, acceptable pour approvisionner les citernes en eau de ruissellement.

Les résultats de cette étude sont de deux ordres. Sur le plan opérationnel, elle a permis la cartographie des sites favorables à l'irrigation de compléments (modèle graphique) et de produire un modèle discursif sur les sites favorables à travers l'intégration d'un ensemble de critères physiques d'identification des meilleurs sites.

Au plan méthodologique, ce travail a permis de mettre en place une démarche complète de choix des sites favorables sur d'autres terrains. Elle a également permis de montrer comment la géomatique peut être avantageusement utilisée dans les problématiques d'aménagement du territoire.

Si les objectifs fixés au départ ont été atteints, ce travail présente des limites dont la prise en compte dans de futurs travaux pourrait permettre de renforcer les résultats. Il s'agit de la prise en compte des aspects socio-économiques dans l'appréciation de la qualité des sites.

Certes, quelques limites ont été observées lors de la réalisation de cette étude à savoir :

- Le manque d'intégration de l'aspect socio économique ;
- La notion de robustesse du modèle pour être appliqué sur d'autres sites ;
- Quelques critères n'ont pas été intégrés soit : les types des spéculations agricoles ; la taille des champs ; la proximité des citernes aux champs.

Ainsi, face aux limites ci haut, nous proposons les perspectives suivantes :

- Intégrer les aspects socio-économiques dans les choix des sites à la mise en place de citerne d'irrigation de complément ;
- Faire une modélisation mathématique ;
- Pouvoir récolter et intégrer les trois critères cités hauts, lors de la prochaine étude.

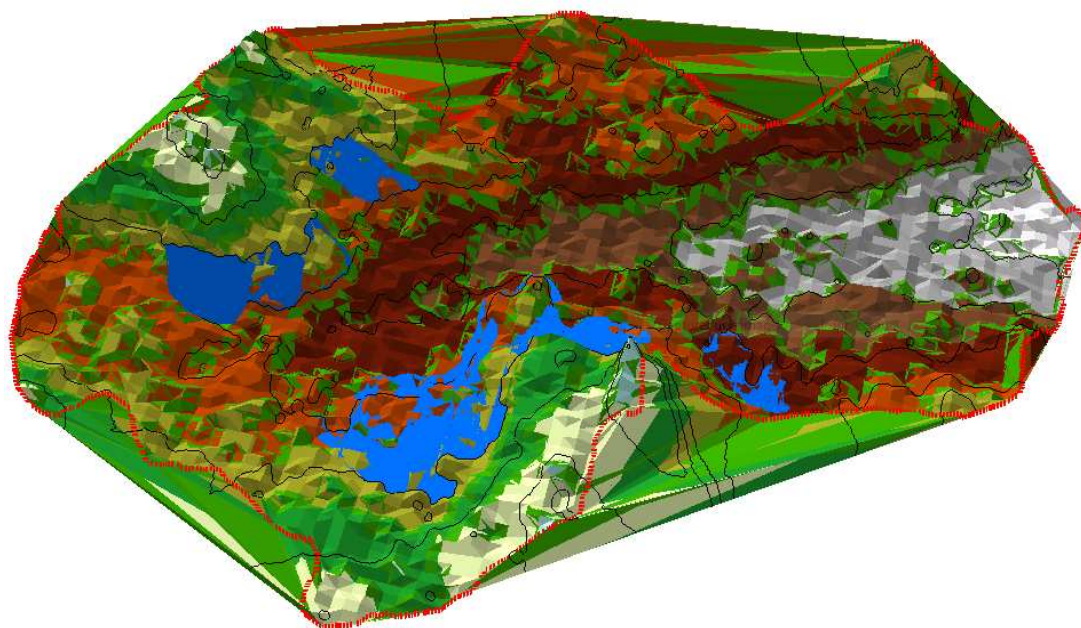
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Arar. (1992). The role of supplementary irrigation in increasing productivity in Near East Region. In: Internationale Conference on "Supplementary irrigation and drought water management" Volume 1, C.I.H.E.A.M.: *Supplementary irrigation and drought water management*, (pp. S1-1.7).
- Badou, F. D. (2006). *Etablissement de bilan hydrique sur différents états de surface du Bassin de TOUGOU (Bassin supérieur du NAKAMBE), rapport de stage, 2iE, p 29.*
- Betson, R. P. (1969). *Source areas of sorm runoff, Water Resources Research, Vol. 5, N° 3, p 574-582.*
- Carter, J. (1992). *The effect of data precision on the calculation of slope and aspect using grid Digital Elataion Models, in cartographica 29 (1), p 22-34.*
- Dastes, F. D. (2011, Mai 20). *Bilan Hydrique, Article 29.* Récupéré sur <http://www.hypergeo.eu/spip.php>, article 29.
- Dial, N. (2006). *Fonctionnement hydrique de différents types de placage sableux dans le Sahel Burkinabé. Thèse de Doctorat, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, p 136.*
- Drapeau, L. (2000). *Statistique et interpolation dans les SIG, towards the use of Geographic Information Systems as a Decision Support Tool for the Management of Mediterranean Fisheres. Informations et Etudes. COPEMED, p 326.*
- Dupont, S. D. (1998). *Production de Modèle Numérique de Terrain à partir des données SAR RADARSAT. Rapport final, Programme AvalSAR, CNES, . Toulouse.*
- Esri. (2011, Mai 12). *Ersi France.* Récupéré sur <http://www.esrifrance.fr/sig2.asp>
- FAO. (1994). *Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GSES).*
- FAO. (2005). *L'irrigation en Afrique en chiffres-Enquêtes AQUASTAT.*
- FAO/ICARDA. (1987). *Importance de l'irrigation de complément . Rabat.*
- FICCDC. (1988). *Comité Fédéral de Coordination Inter-Agence pour la Cartographie Numérique. USA: Washington.*
- Fillali. (1991). *Irrigation de complément des céréales: une méthode d'analyse. Cas de la région de Meknes, Maroc. MEDIT. Maroc .*
- Forest. (1980). *L'irrigation de complément à la portée de système agricoles vivrières, paysans utilisant la technologie Biogaz-Compost. Ouagadougou.*

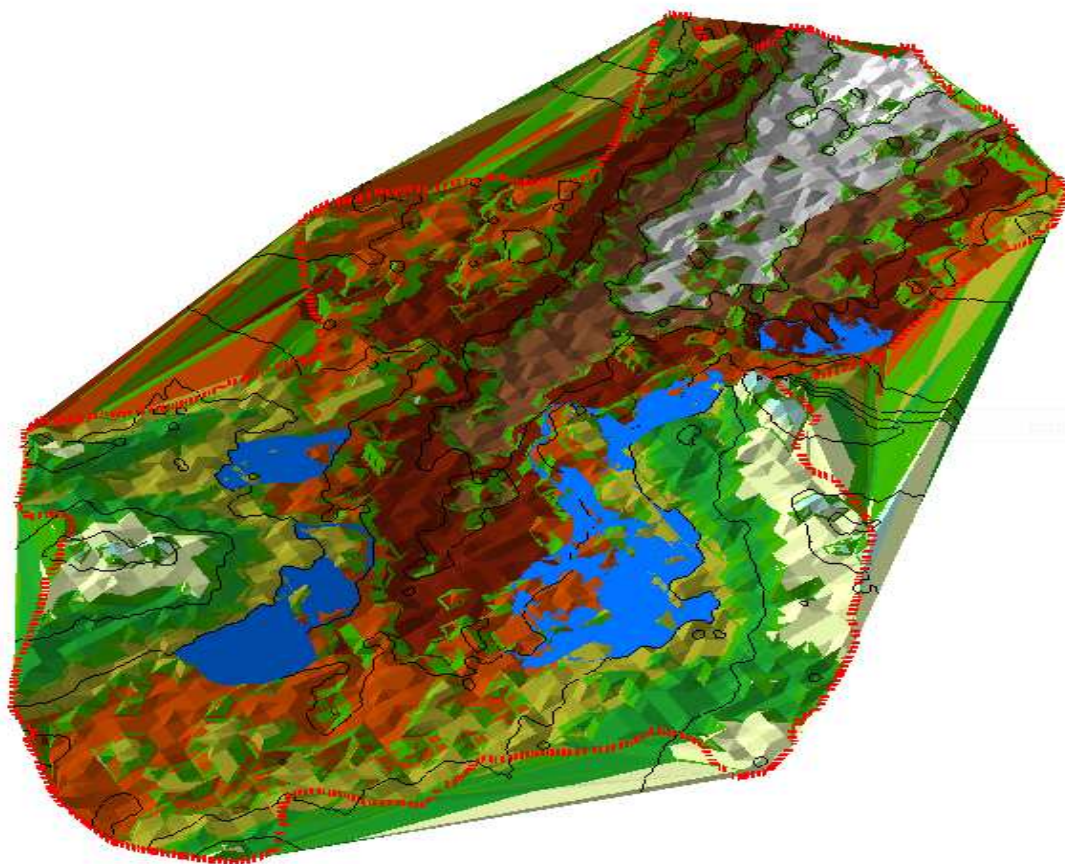
- Gachet. (2005). *Etude comparative de différentes méthodes d'interpolation pour gérer des modèles numériques d'altitude raster à partir de points brutes Lidar EPA*, p 58. Suisse: Lausanne.
- George, P., & Borouchaki, H. (1997). *Tiangulation de DELAMAY et maillage; Application aux éléments finis*, p158. Paris: Hemes Science.
- Guillermo A. Mendoza, P. M. (2000). *Application de l'Analyse Multicritère à l'évaluation des critères et indicateurs*, p 22. France: CIFOR, CIRAD.
- Gunie. (2002). *Les méthodes d'élaboration de Modèle Numérique de Terrain, construction de la carte des pentes*, p 5-6.
- Karambiri. H, Yacouba. H, Barbier. B, Mahe. G et Paturel . J.E. (2009). *Characterisation Du Ruissellement Et De L'Erosion De La Parcelle au bassin versant en zone Sahélienne: cas de petit bassin versant de Tougou au Nord du Burkina Faso*.
- Higy, A. M. (2004). *Hydrologie, Science de la nature*, p 77-100. Suisse: ISBN: 978-2-88074-546-2.
- IWACO. (1990). *Rapport des études des quatre bassins versants expérimentaux à Burkina Faso, Volume II. Bassin versant de Tougou, Ministère de l'Eau et de la Planification*. Burkina Faso: Ouagadougou.
- Jourda J.P., S. M. (2001). *Initiation à ArcView 3.2 et son application aux Systèmes d'Information Géographique. Support pédagogique du séminaire sur ArcVIEW*, p 62. Abidjan .
- Laaridi, A. (2000). *SIG et Analyse Multicritère*, p 92. Paris: Hermès Science Publications.
- Magloire, K. K. (2006). *Dynamique du couvert végétal et de la production agricole du bassin versant de Tougou au Nord du Burkina Faso, rapport de stage. Université de Ouagadougou*, p 25, 26, 38-77.
- MAHRH. (2010). *Contribution à la réflexion sur la sécurisation de la production agricole de saison pluvieuse par l'irrigation de complément*. Burkina Faso: Ouagadougou.
- MAHRH. (2003). *Stratégie Nationale de développement durable de l'irrigation au Burkina Faso*. Burkina Faso: Août.
- Ouedraogo, S. (2005). *Intensification de l'agriculture dans le plateau centrale du Burkina Faso: Analyse des possibilités à partir des nouvelles technologie*, p16. Burkina Faso: Ouagadougou.
- Pumain, M. B. (2003). *La représentation des données géographiques, statistique et cartographie. Deuxième édition*. p 31, 35. Paris, France: Armand Colin Edition.
- Robert, C. (1996). *Les ressources mondiales en eau et en sols: une limitation pour l'avenir. Cahier Agriculture*.

- Rochon, G. B. B. (1992). *Précis de Télédétection: Principes et méthode; UREF/AURELF/ Presses de l'Université de Québec, vol 1*. Canada.
- Rogers, C. (2003). Interpolation des températures moyennes mensuelles en France métropolitaine avec l'extension Geostatistical Analyst d'ArcGIS 8. *Conference Francophone ERSI*, (p. 2). Saint Etienne.
- Roose. (1967). *Dix années de mesure expérimentale de l'érosion et du ruissellement au Sénégal*. *Trop 22(2): p 123- 152*.
- Semde, A. &. (2004). *Ministère de l'agriculture de l'hydraulique et des ressources halieutiques,. Etudes morpho-pédologique des provinces du Yatenga, du Loroum et du Zondoma. Bureau national des sols Rapport technique n°122*. Ouagadougou.
- Soutter, M. &. (1991). *Physique de sol « Collection gérer l'environnement » CH-1015 Lausanne, p 215-220*. Lausanne: ISBN 2-88074-211-0.
- Tahari. (2004). *Les modèles numériques de terrain. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Notes de cours Filière de Formation en topographie, p 46*. Maroc.
- Thornes, S. &. (1979). *"Infiltration characteristics in a semiarid environment"*, *IAHS publication N°128, p 159-168*. IAHS.
- Tsai, K. C. (1991). *The effect of Digital Elevation Models resolution on slope and aspect mapping cartography and Geographic Information System, 18 (1), p 69-77*.
- Wise, S. (2000). *Assessing the quality for hydrological Applications of Digital Elevation Models (DEM) derived from contours, in hydrological processes, p 14*.
- Dembele. Y & Somé. L (1991). *Propriétés hydrodynamiques des principaux types de sol du Burkina Faso, INERA Ouagadougou, p 222*.
- Zaninetti, J.-M. (2005). *Statistique Spatiale, méthode et application géomatique, p 213, 218-219*. Paris: Hermes, Science.

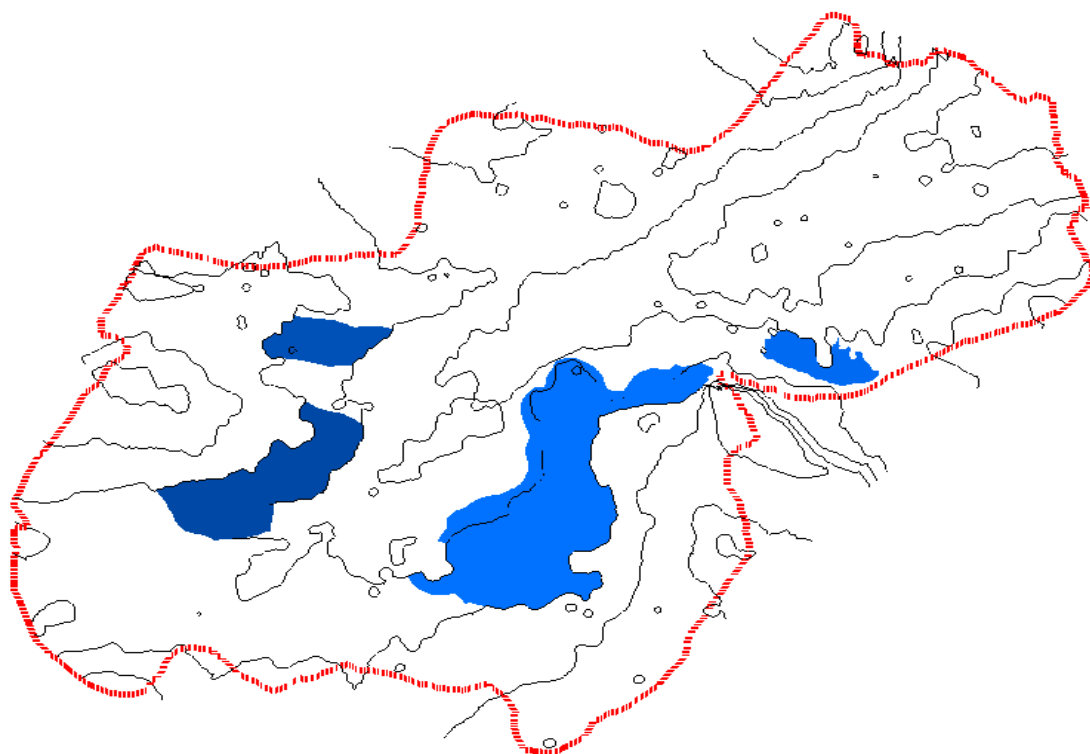
ANNEXES



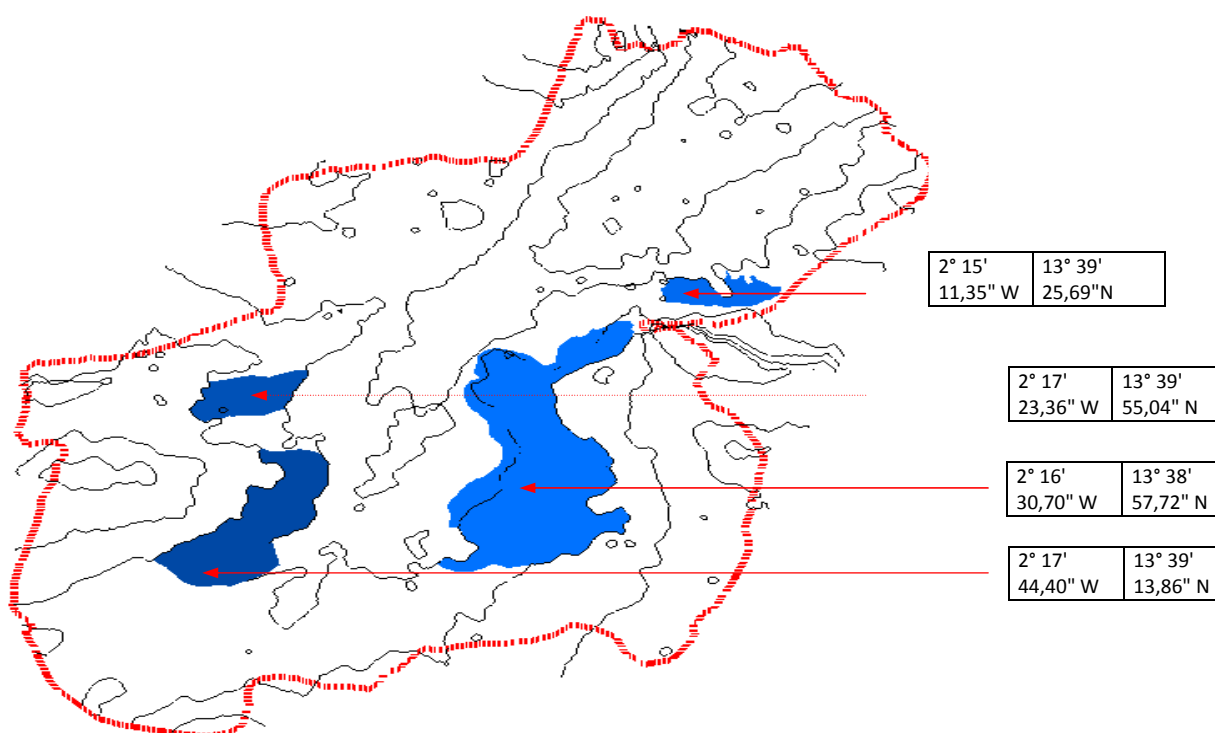
Annexe 1 : Vue de dessus nord-sud du bassin versant de Tougou en 3 D



Annexe 2 : Vue de dessus ouest-est du bassin versant de Tougou en 3 D



Annexe 3 : Bassin versant de Tougou vue de dessus 3 D



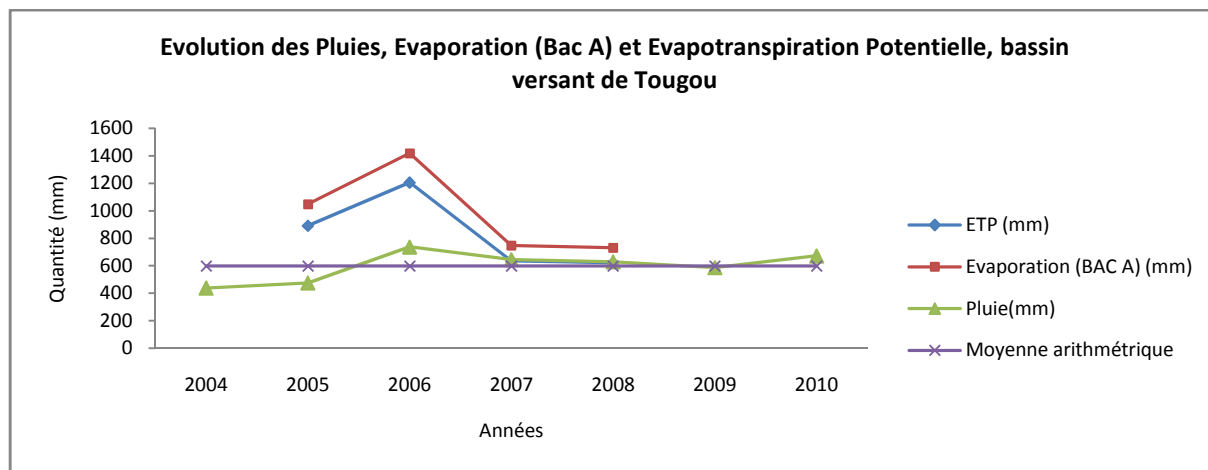
Data source :
 Bassin versant : IWACO 1990
 Site des retenues d'I.C : AMC

Réalisation : Wilfred KOMBE
 Date : 04.08.2011
 Pour mon mémoire de Master spécialisé GIRE : 2010-2011

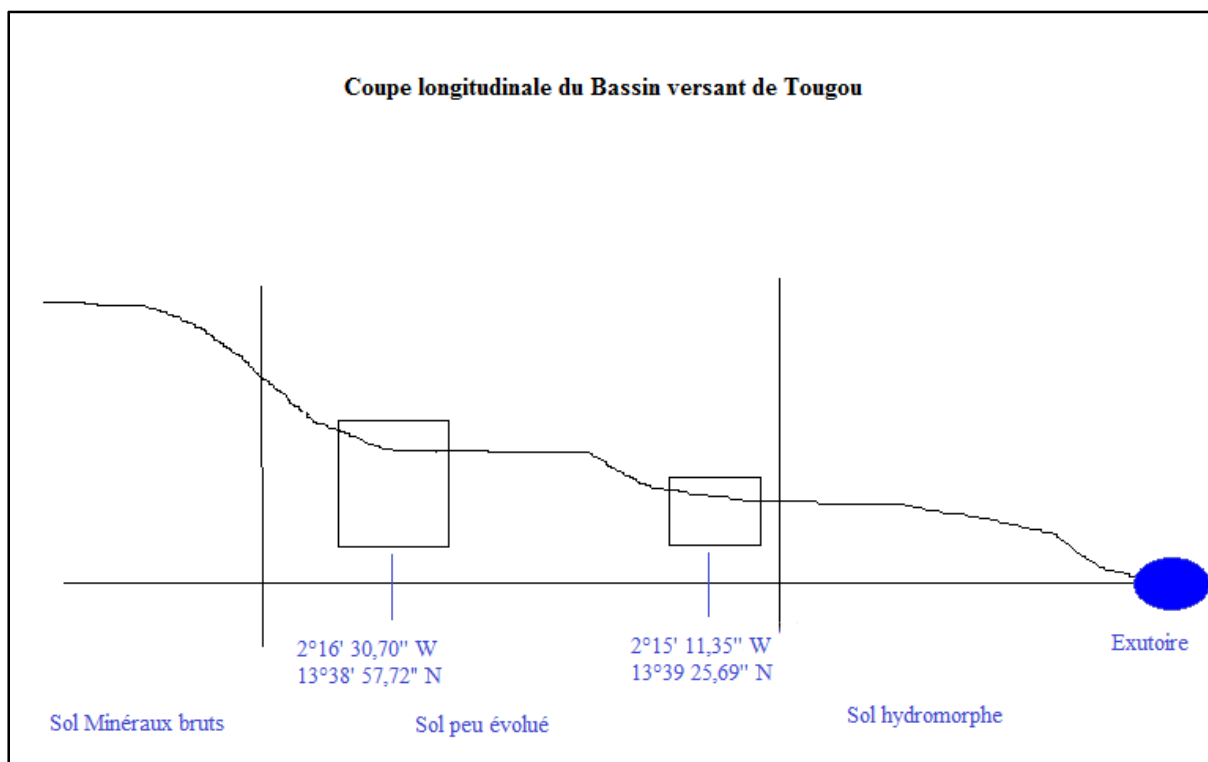
Annexe 4 : Bassin versant de Tougou vue de dessus 3 D

Les polygones bleus, sur les versants des figures ci-dessus sont les sites aptes à la mise en place des citernes d'irrigation de complément.

Le graphique ci-dessous montre l'évolution des pluies (de 2004 à 2010), d'évaporation et de l'évapotranspiration potentielle (2005 à 2008) dans le bassin versant de Tougou.



Annexe 5 : Evolution des pluies, évaporation et évapotranspiration potentielle dans le bassin versant de Tougou



Annexe 6 : Coupe longitudinale du bassin versant de Tougou